

# Snimanje i analiza tjelesnih pokreta u virtualnom okruženju

---

**Paić, Mate**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:208801>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Mate Paić**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentori:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl.ing.

Student:

Mate Paić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Veliku zahvalu želim pružiti dr.sc Zoranu Kunici na stručnoj pomoći, motivaciji te uloženom trudu, vremenu i strpljenju.

Velike zahvale također želim pružiti obitelji i prijateljima koji su oduvijek bili velika podrška.

U Zagrebu, 30. studenoga 2022.

Mate Paić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-14/22-6/1
Ur. broj:	15-1703-22-

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MATE PAIĆ**

Mat. br.: 0035211383

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Snimanje i analiza tjelesnih pokreta u virtualnom okružju**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Body motion capture and analysis in virtual environment**

Opis zadatka:

Snimanje i analiza tjelesnih pokreta potaknuti su stalnim interesom za povećanjem proizvodnosti, humanizacijom rada te stvaranjem osnova za zamjenu ljudskog rada strojnim. Napretkom tehnologije omogućuje se sve kvalitetnije promatranje tjelesnih pokreta.

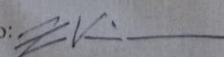
U radu je potrebno:

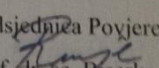
1. objasniti značaj snimanja i analize tjelesnih pokreta
2. istražiti načine provedbe snimanja i analize tjelesnih pokreta te opisati odabrane načine s navođenjem korištene opreme
3. opisati opremu za snimanje pokreta koja će se koristiti u radu i njeno radno okružje
4. za opremu iz točke 3. osmisliti i njome provesti pokuse snimanja tjelesnih pokreta te analizirati dobivene rezultate
5. naznačiti mogućnosti primjene postavki i rezultata rada u pogledu, naprimjer: proizvodnih i/ili ostalih djelatnosti, integracije s ostalom opremom.

Zadatak zadan:  
29. rujna 2022.

Rok predaje rada:  
1. prosinca 2022.

Predvideni datum obrane:  
12. prosinca do 16. prosinca 2022.

Zadatak zadao:   
prof. dr. sc. Zoran Kunica

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD.....	1
2. ZNAČAJ SNIMANJA I ANALIZE TJELESNIH POKRETA .....	3
3. NAČINI I OPREME KOJE SE KORISTE PRI SNIMANJU I ANALIZI POKRETA ....	11
3.1. Optički sustavi za snimanje.....	11
3.1.1. Aktivni markeri .....	12
3.1.2. Pasivni markeri .....	13
3.1.3. Polupasivni neprimjetni markeri .....	14
3.1.4. Podvodno snimanje pokreta .....	14
3.2. Neoptički sustavi za snimanje.....	15
3.2.1. Inercijski senzori pokreta .....	15
3.2.2. Mehanički senzori pokreta .....	16
3.2.3. Magnetski senzori pokreta .....	16
3.2.4. Hibridni sustavi .....	16
3.3. Pružatelji visoko naprednih sustava optičkog snimanja pokreta .....	17
3.4. Suvremeni softveri snimanja pokreta.....	20
3.5. Suvremeni uređaji snimanja pokreta u virtualnoj stvarnosti.....	23
4. UREĐAJ PERCEPTION NEURON 2.0 .....	26
4.1. Dijelovi uređaja i oprema.....	28
4.2. Priprema za korištenje.....	33
4.3. Program Axis Neuron .....	34
4.3.1. Snimanje podataka o pokretu .....	34
4.3.2. Korisničko sučelje.....	37
4.4. Različite kombinacije korištenja opreme .....	39
4.4.1. Način rada: Cijelo tijelo .....	39
4.4.2. Način rada: Jedna ruka.....	41
4.4.3. Način rada: Gornji dio tijela .....	42
4.4.4. Način rada: Donji dio tijela.....	43
4.5. Usporedba uređaja Perception Neuron sa drugim sustavima.....	43
4.6. Primjena uređaja Perception Neuron .....	46
5. MOGUĆNOST PROVEDBE ISPITIVANJA.....	48
5.1. Korištenje triju senzora: klizanje dlana po stolu i dizanje dlana uvis .....	51
5.2. Korištenje šest senzora: savijanje kažiprsta lijeve ruke .....	56
5.3. Korištenje devet senzora: savijanje kažiprsta lijeve ruke .....	59
6. POKUSI UREĐAJEM PERCEPTION NEURON 2.0.....	61
6.1. Pomicanje objekta iz jednog mjesta u drugo .....	61
6.2. Dodavanje objekta iz jedne u drugu ruku .....	65

---

6.3. Otvaranje poklopca staklene boce.....	66
6.4. Zaključak nakon izvedenih pokusa .....	68
7. ZAKLJUČAK.....	70
LITERATURA.....	71

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Razvojni koraci industrijske revolucije [1] .....	1
Slika 2. Snimanje i analiza pokreta [18] .....	2
Slika 3. Čovjek u pokretu [2] .....	3
Slika 4. Niz pokreta bacača koplja [3] .....	3
Slika 5. Pokreti u kirurgiji [5] .....	4
Slika 6. Interakcija čovjeka i robota [7] .....	4
Slika 7. Naočale za virtualnu stvarnost [8] .....	5
Slika 8. Osnovni pokreti sustava MTM [12].....	7
Slika 9. Optički sustav za snimanje [17].....	12
Slika 10. Sustav sa markerima [43].....	12
Slika 11. Snimanje aktivnim markerima [18] .....	13
Slika 12. Sustav s pasivnim markerima [19].....	14
Slika 13. Podvodno snimanje pokreta [18] .....	14
Slika 14. Inercijski sustav snimanja pokreta [17] .....	15
Slika 15. Kamera Prime 41 [20].....	17
Slika 16. Viper kamera [21] .....	18
Slika 17. Podvodna kamera [22] .....	18
Slika 18. Mo-Sys kamera korištena za snimanje filmova [23] .....	19
Slika 19. Rokoko tehnologija [24] .....	20
Slika 20. Softver Blender [25].....	21
Slika 21. Softver Unreal Engine [26] .....	21
Slika 22. Softver Autodesk Maya [27].....	22
Slika 23. Softver Unity [28] .....	23
Slika 24. Virtualna stvarnost u obliku video igre [29] .....	24
Slika 25. Naočale Oculus Rift [30] .....	24
Slika 26. Naočale HTC Vive [31] .....	25
Slika 27. Naočale Valve Index [32] .....	25
Slika 28. Perception Neuron 3 [33].....	26
Slika 29. Zapakiran u torbu uređaj Perception Neuron .....	27
Slika 30. Perception Neuron 2.0 za vrijeme korištenja [34] .....	27
Slika 31. Zapakirani dijelovi Perception Neurona .....	28
Slika 32. Senzor neuron [35].....	28
Slika 33. Koncentrator.....	29
Slika 34. Kabel za vanjsku bateriju (crveno) i kabel za direktno spajanje (crno).....	29
Slika 35. Kabel za prijenos podataka .....	30
Slika 36. Univerzalni socket.....	30
Slika 37. Rukavice [35].....	31
Slika 38. Remeni za gornji dio tijela [35] .....	31
Slika 39. Remeni za noge [35] .....	32
Slika 40. Dijelovi Perception Neurona [35] .....	32
Slika 41. Perception Neuron dijelovi na čitavom tijelu [35].....	33
Slika 42. Povezivanje Perception Neuron-a sa računalom preko koncentratora [37].....	35
Slika 43. Povezivanje koncentratora sa računalom [37] .....	35
Slika 44. Određivanje modela tijela [37] .....	36
Slika 45. Kalibracija senzora [37] .....	36
Slika 46. Snimanje pokreta [37].....	37
Slika 47. Korisničko sučelje [37] .....	37
Slika 48. Nužni i dodatni senzori [38].....	39



Slika 49. 11 senzora i 25 markera [39].....	44
Slika 50. Stupnjevi sličnosti složenih pokreta [39].....	46
Slika 51. Prikaz podataka o pokretima u programu Axis Neuron.....	48
Slika 52. Prikaz vrijednosti pozicije približno nuli.....	49
Slika 53. Prikaz vrijednosti kutova koji teže nuli.....	50
Slika 54. Različito postavljene senzori na jednoj ruci.....	51
Slika 55. Početni položaj ruke u pokusu s tri senzora.....	52
Slika 56. Prikaz početnih podataka pomaka dlana u pokusu s tri senzora.....	53
Slika 57. Krajnji položaj ruke nakon pomicanja naprijed-natrag.....	53
Slika 58. Prikaz krajnjih podataka pomaka dlana u pokusu naprijed-natrag.....	54
Slika 59. Krajnji položaj ruke u pokusu lijevo-desno.....	54
Slika 60. Prikaz krajnjih podataka pomaka dlana u pokusu lijevo-desno.....	55
Slika 61. Krajnji položaj ruke pri pokusu gore-dolje.....	55
Slika 62. Prikaz krajnjih podataka pomaka dlana u pokusu gore-dolje.....	56
Slika 63. Početni položaj prstiju tijekom savijanja kažiprsta sa šest senzora.....	57
Slika 64. Krajnji položaj prstiju tijekom savijanja kažiprsta sa šest senzora.....	57
Slika 65. Usporedba kuta savijanja prstiju sa šest senzora.....	58
Slika 66. Krajnji položaj prstiju tijekom savijanja kažiprsta sa devet senzora.....	59
Slika 67. Krajnji položaj prstiju tijekom savijanja srednjeg prsta sa devet senzora.....	60
Slika 68. Usporedba kuta savijanja svih prstiju sa devet senzora.....	60
Slika 69. Predmet ispitivanja – svijeća.....	61
Slika 70. Uzimanje svijeće.....	62
Slika 71. Karakteristične točke triju osi šake prilikom uzimanja objekta.....	62
Slika 72. Karakteristične točke kutova vrhova prstiju prilikom uzimanja objekta.....	63
Slika 73. Izuzimanje svijeće.....	63
Slika 74. Karakteristične točke triju osi šake prilikom izuzimanja objekta.....	64
Slika 75. Karakteristične točke kutova vrhova prstiju prilikom izuzimanja objekta.....	64
Slika 76. Karakteristične točke triju osi dviju šaka prilikom početka dodavanja svijeće.....	65
Slika 77. Karakteristične točke triju osi dviju šaka prilikom završetka dodavanja svijeće.....	66
Slika 78. Staklena boca.....	66
Slika 79. Pomaci lijeve ruke po koordinatnoj osi Z za vrijeme otvaranja staklene boce.....	67
Slika 80. Kutovi prstiju lijeve šake tijekom otvaranja poklopca staklene boce.....	67
Slika 81. Pomaci prstiju lijeve šake tijekom otvaranja poklopca staklene boce.....	68
Slika 82. Kutovi prstiju desne šake tijekom otvaranja poklopca staklene boce.....	68

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Gilbrethovih 18 osnovnih pokreta.....	6
Tablica 2. Pokreti sustava MTM-1.....	8
Tablica 3. Pokreti sustava MTM-2.....	9
Tablica 4. Veličine koje definiraju pokret.....	11
Tablica 5. Spajanje senzora načinom rada s cijelim tijelom.....	40
Tablica 6. Spajanje senzora načinom rada s jednom rukom.....	41
Tablica 7. Spajanje senzora načinom rada s gornjim dijelom tijela.....	42
Tablica 8. Spajanje senzora načinom rada s donjim dijelom tijela.....	43

---

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Jedinica	Opis
2D		dvodimenzionalan
3D		trodimenzionalan
API		<i>Application Programming Interface</i> – sučelje za programiranje aplikacija
CAD		engl. <i>Computer Aided Design</i> – računalom potpomognuto oblikovanje
CMC		višestruki koeficijenti korelacije, engl. <i>Coefficient of multiple Correlation</i>
engl.		engleski
IMU		engl. Inertial measurement unit – inercijska mjerna jedinica
LED		engl. <i>light-emitting diode</i> – poluvodički elektronički element koji pretvara električni signal u optički
MTM		engl. <i>Method-Time-Measurement</i> – Metoda-mjerenje vremena, naziv sustava unaprijed određenih vremena
R <sup>2</sup>		koeficijent determinacije, engl. <i>Coefficient of determination</i>
RDMS		korijen srednje kvadratne pogreške, engl. <i>root-mean-deviation</i>
USB		engl. <i>Universal Serial Bus</i> – univerzalna serijska sabirnica
VR		engl. <i>Virtual Reality</i> – virtualna stvarnost

**SAŽETAK**

Ljudski pokret je oduvijek bila egzistencijalna potreba i neizostavan dio ljudskog života te stoga su se oduvijek vodile brojne analize i rasprave. Napretkom tehnologije razvijeni su sustavi za snimanje i analizu podataka koji omogućuju bolje shvaćanje i detaljnu upotrebu podataka o pokretima ljudskog tijela te njihovu vizualizaciju u raznim softverskim paketima. U radu je opisana važnost i značaj pokreta u ljudskim djelatnostima te su navedene neke tehnologije i uređaji za snimanje pokreta. Detaljno je opisan uređaj za snimanje i analizu pokreta Perception Neuron 2.0 dok je korišteno virtualno okružje za prikaz podataka o pokretu softver Axis Neuron. Izvršeno je više različitih pokusa s jednom ili dvije ruke pri kojima su prikupljeni podaci o pomacima šake i kutovima prstiju. Rezultati ispitivanja i pokusa su se detaljno analizirali i komentirali te su se na temelju njih predložila daljnja istraživanja.

Ključne riječi: tjelesni pokret, snimanje, analiza, Axis Neuron, Perception Neuron 2.0

---

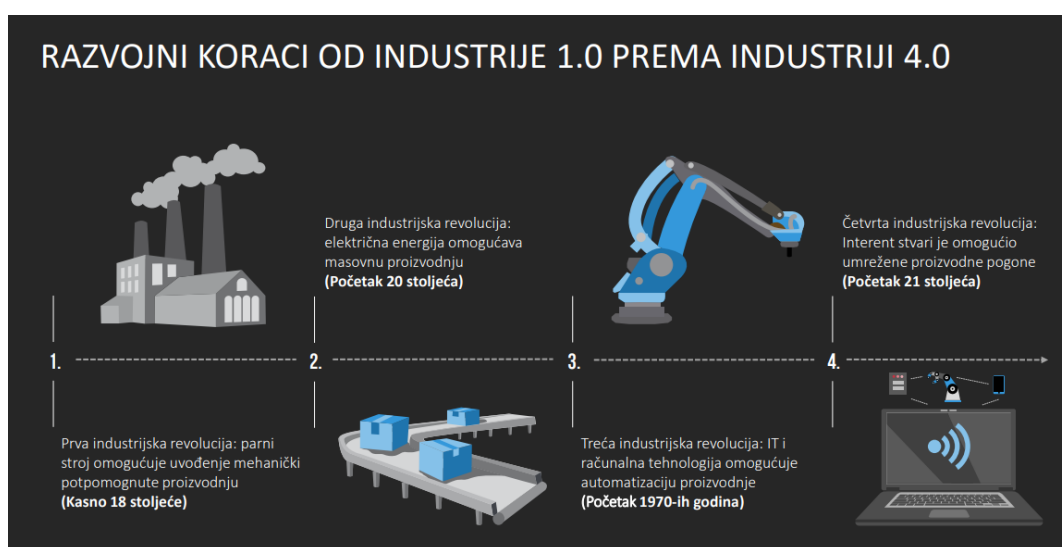
**SUMMARY**

Human movement has always been an existential need and an indispensable part of human life, and therefore has always been the subject of numerous analyzes and discussions. With the advancement of technology, data recording and analysis systems have been developed that enable a better understanding and detailed use of data on the movements of the human body and their visualization in various software packages. The paper describes the importance and significance of movement in human activities, and some technologies and devices for recording movements are listed. The Perception Neuron 2.0 motion capture and analysis device is described in detail while using the Axis Neuron software motion data virtual environment. Several different experiments were performed with one or two hands, in which data were collected on hand movements and finger angles. The results of the tests and trials were analyzed and commented in detail, and further research was proposed based on them.

Key words: body movement, motion capture, analysis, Axis Neuron, Perception Neuron 2.0

## 1. UVOD

Od samih početaka vremena ljudi su se oslanjali na pokrete svog tijela. Bilo da se radi od jednostavnijih radnji, koje su se koristile od samih početaka, kao što su lov, sakupljanje plodova, izrada alata, gradnje nastamba ili danas kada postoji sustavno i plansko izvođenje procesa koji pomažu u izvršavanju određenih radnji u proizvodnji, sportu, umjetnosti, medicini, plesu i brojnim drugim područjima: u svakome od njih su prisutni gibanja i pokreti u kojima se ostvaruje neki rad i utrošak mehaničke energije. Industrijska revolucija (Slika 1.) je obilježila značajno smanjenje tjelesnog napora kroz mehanizaciju radnih procesa, dok je pojava digitalnih uređaja dovela do unaprjeđenja prijenosa i obrade informacija.



Slika 1. Razvojni koraci industrijske revolucije [1]

No, uz povećanje sigurnosti i kvalitete života radnika, poduzećima je potrebno i povećanje konkurentnosti radi očuvanja vlastite egzistencije. Opstanak se održava stalnim rastom učinkovitosti, a to se postiže digitalizacijom industrije – kao što je povezanost strojeva, skladišta, logistike i opreme. Time se postiže veća kompetitivna prednost. Bez obzira, radi li se o automatiziranim, ručno izvođenim procesima korištenjem boljih ili lošijih alata, u središtu zanimanja je mogućnost povećanja efikasnosti ljudskog rada. U ljudskom radu su prisutni gibanja i pokreti koji su od velike važnosti.

Naime, u svrhu što veće profitabilnosti i učinkovitosti jer su vrijeme i kvaliteta glavni faktor od posebnog je značaja razmatranje i analiza tjelesnih pokreta pri mehaničkom radu u svrhu što uspješnijeg optimiranja rada, a zatim i bolja mehanizacija i automatizacija procesa razvojem odgovarajućih strojeva i uređaja. Ideja je da za opisivanje određenih pokreta su

potrebne određene informacije. Naime, pokrete je potrebno opisati, a kako bi se moglo prosuditi njihovu kvalitetu, potrebno je izmjeriti određene veličine kojima će se istaknuti njihove karakteristike. Dodatno, potrebno je, uz projektiranje radnih sustava, voditi računa o motiviranosti i psihološkom stanju radnika.

Snimanje pokreta (Slika 2.) je tehnika digitalnog snimanja pokreta stvarnih entiteta, obično ljudi. Izvorno je razvijen kao alat za analizu u istraživanju biomehanike, ali je postao sve važniji kao izvor podataka o kretanju za računalne animacije. Osobito puno pozornosti je dobilo hvatanje i praćenje pokreta ruke zbog svoje ključne uloge u razvoju novih metoda interakcije čovjeka s računalom.

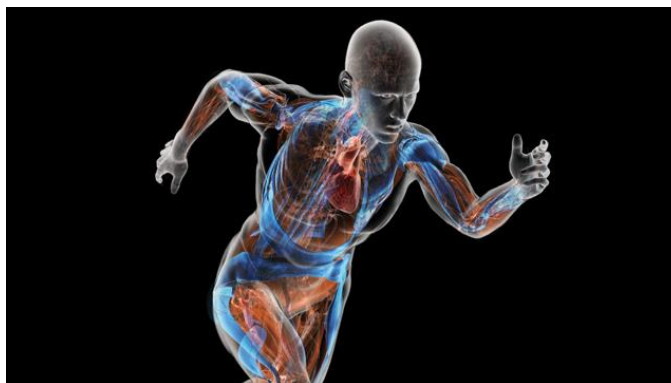


**Slika 2. Snimanje i analiza pokreta [18]**

Shodno tome, u ovome radu razmotrit će se značaj snimanja i analize pokreta, sustavi za snimanje pokreta te njihova tehnologija. Detaljno će se opisati odabrani uređaj te na kraju i izvesti određen broj pokusa u kojima će se rezultati analizirati.

## 2. ZNAČAJ SNIMANJA I ANALIZE TJELESNIH POKRETA

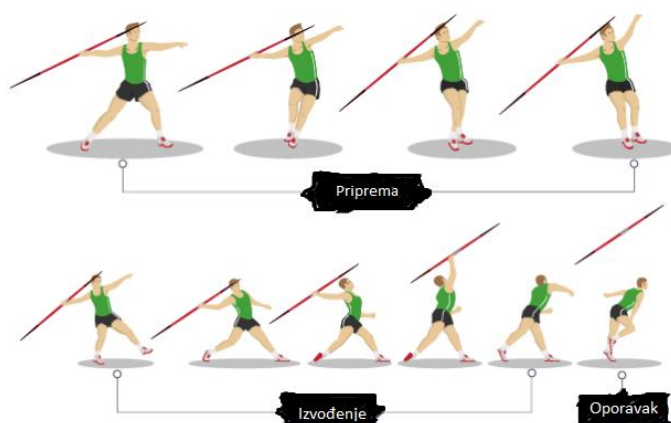
Sva živa bića imaju univerzalnu potrebu za kretanjem jer bez kretanja ne bi bilo života. Zbog tog je pokret najvažnija funkcija egzistencije ljudskog života, a sve druge funkcije su povezane s njim. Slika 3. prikazuje čovjeka u pokretu.



**Slika 3. Čovjek u pokretu [2]**

U sportu analiza kretanja je usmjerena na analizu fiziološke mehanike ljudskog kretanja. To uključuje analizu načina na koji sile međusobno djeluju i učinka koje te sile imaju na i unutar tijelo. Postoji niz metoda koje se koriste za analizu kretanja u sportu. Jedna koju često koriste treneri i sportaši je analiza faze kretanja. Postoje tri faze kretanja (Slika 4.):

- priprema – pokreti koje sportaš čini dok se priprema za izvođenje vježbe
- izvođenje – pokreti koji se izvode tijekom izvođenja glavnog dijela vježbe
- oporavak – pokreti koji omogućuju sportašu da ponovno uspostavi ravnotežu i položaj nakon izvođenja vježbe.



**Slika 4. Niz pokreta bacača koplja [3]**

Razvojem tehnologije, pokret se koristi sve češće i za druge mogućnosti. Do izražaja dolaze suvremeniji pristupi kao što su filmovi, videoigre, interakcija robota i čovjeka, virtualna



stvarnost koja ima veliku ulogu u vojnim svrhama. Na primjer, analiza kirurških pokreta (Slika 5.) dobiva sve veći interes s razvojem uređaja koji omogućuje njihovo automatsko snimanje u svrhu određivanja odmjerenih i preciznih pokreta [4].



**Slika 5. Pokreti u kirurgiji [5]**

U digitalizaciji stvarnosti važnu ulogu ima pokret. Pokret određuje međusobni odnos i interakciju ljudi, predmeta rada, naprava i strojeva u stvarnosti, kao i njih s okolinom. U automatskim procesima, kako bi strojevi mogli surađivati u stvarnom svijetu, moraju znati svoj trenutni položaj, stanje okoline, a s obzirom na diferencijalno male promjene u okolišu, moraju biti sposobni predviđati buduća stanja. Da bi se navedeno realiziralo potrebno je kvalitetno snimanje okoline za dobivanje stanja te analiziranje promjena kako bi se predviđala buduća stanja [6]. Slika 6. prikazuje suvremenu kolaboraciju robota i čovjeka u radnoj stanici.



**Slika 6. Interakcija čovjeka i robota [7]**

Sa sve većim rastom virtualne stvarnosti u industriji, znanosti, medicini, procjena ljudskih pokreta u virtualnom okruženju postaje sve veća. Analizom kretanja korisnika virtualne stvarnosti, koja se izvodi u virtualnom okruženju, mogu se razumjeti i poboljšati izbori dizajna i napredak u virtualnom okruženju. Na taj je način stvoren sustav vizualne analize koji pruža detaljnu vizualizaciju, istraživanje podataka o ljudskom kretanju.



**Slika 7. Naočale za virtualnu stvarnost [8]**

Postoje tri metode analize pokreta [3]:



















1. kvalitativne metode – nenumeričke metode provjerom vještine i izvodi se tijekom izravnog promatranja kretanja.
2. kvantitativne metode – prikupljanje, mjerenje i provjera podataka neke aktivnosti gdje su brojevi uključeni.
3. prediktivna metoda – pomoću računalnog modela osobe ili opreme se predviđa promjena koja bi se dogodila u pokretu kao posljedica promjena ulaznih parametara.

Proučavanjem rada i vremena razvijeni su sustavi unaprijed određenih vremena (*Method-Time Measurement*, MTM). Sustav MTM funkcionira tako da prepoznaje, klasificira i opisuje pokrete koji se koriste ili su potrebni za izvedbu određene opreme, te raščlanjuje ručne radnje na osnovne pokrete. Zatim dodaje unaprijed određene vremenske standarde svakom pokretu kako bi unaprijedio učinkovitost i profitabilnost [9]. Vrijeme automatske operacije i tehnološko vrijeme utvrđuju se snimanjem kronometrom ili izračunavanjem pomoću formula.

Velike zasluge za razvoj MTM sustava zaslužan je Frank Gilbreth. On je došao do spoznaje da vrijeme izvođenja određene operacije, uz pretpostavku da je izvode osobe jednake razine uvježbanosti, podjednake sposobnosti, spretnosti i znanja, ovisi jedino o metodi rada koja se primjenjuje. Snimajući radnikove kretnje, primijetio je da je broj vrsta osnovnih kretnji ograničen, zaključujući da se gotovo sve operacije izvode pokretima sastavljenim od isključivo

18 pokreta (Tablica 1.). Ove podjele pokreta ili skupine pokreta poznate su kao *Therbligs*, a naziv je zapravo anagram od samog Gilbretha, za kojeg se smatra utemeljiteljem proučavanja kretanja [10].

**Tablica 1. Gilbrethovih 18 osnovnih pokreta**

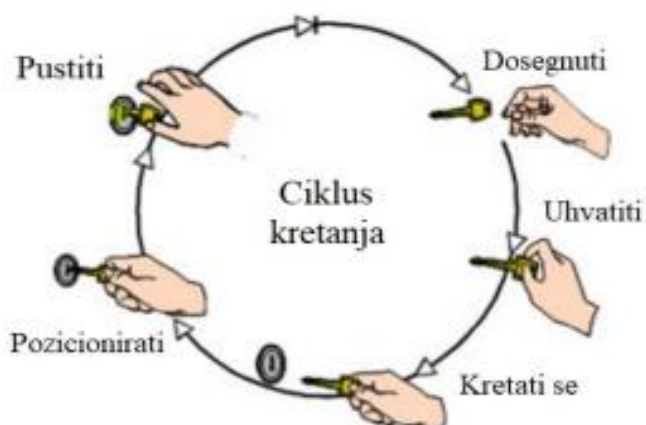
Simbol	Naziv	Engleski naziv	Skraćenica
	Pretraživanje	Search	Sh
	Pronaći	Potražiti	F
	Odabrati	Select	ST
	Hvatanje	Grasp	G
	Zadržavanje	Hold	H
	Prenjeti sa opterećenjem	Transport Loaded	TL
	Prenjeti bez opterećenja	Transport Empty	TE
	Pozicioniranje	Position	P
	Sastaviti	Assemble	A
	Upotrijebiti	Use	U
	Rastaviti	Disassemble	DA
	Pregledati	Inspect	I
	Pozicioniranje	Preposition	PP
	Otpuštanje opterećenja	Release Load	RL
	Pauza - neizbježna	Unavoidable Delay	UD
	Pauza - nepotrebna	Avoidable Delay	AD
	Planiranje	Plan	Pn
	Odmor	Rest	R

Zbog eliminacije svih nepotrebnih i suvišnih pokreta postignuta je ušteda vremena. Ipak veliki nedostatak Gilbrethovom radu je nepostojanje unaprijed utvrđenih vremena čime bi se pojedini pokreti mogli uspoređivati i kombinirati najučinkovitija kombinacija pokreta. Gilbrethov rad nastavio je Wesley Maynard, koji je 1948. godine u časopisu „*Factory Managment and Maintenance*“ prvi put objavio postupak MTM i uveo potreban vremenski standard koji je do tada nedostajao [11].

MTM sustav se temelji na sljedećih pet osnovnih pokreta:

- dosegnuti
- uhvatiti
- kretati se
- pozicionirati
- pustiti.

Ovi pokreti čine 80 % do 85 % postupaka koje izvode ljudska bića.



**Slika 8. Osnovni pokreti sustava MTM [12]**

Osim osnovnih kretnji rukama, sustav MTM se sastoji od pokreta prstiju, šake i ruku, pokreta očiju, pokreta tijela, nogu i stopala koji se mogu vidjeti u tablici 2.

Tablica 2. Pokreti sustava MTM-1 [11]

<b>Pokret</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Engleski naziv</b>
<b>POKRETI RUKOM, ŠAKOM I PRSTIMA</b>		
Posezanje	R	Reach
Prenošenje	M	Move
Zaokretanje	T	Turn
Kružno okretanje	C	Crank
Pritiskivanje	AP	Apply Pressure
Hvatanje	G	Grasp
Ispuštanje	RL	Release
Sastavljanje	P	Position
Rastavljanje	D	Disengage
<b>POKRETI OČIMA</b>		
Koncentracija pogleda	EF	Eye focus
Prijenos pogleda	ET	Eye travel
<b>POKRETI TIJELO, NOGOM I STOPALIMA</b>		
Pokret stopala	FM	Foot Motion
Pokret noge	LM	Leg Motion
Pokret noge u stranu	SS	Side step
Okret tijelom	TB	Turn Body
Saginjanje	B	Bend
Spuštanje	S	Stoop
Klečanje	K	Kneel
Sjedenje	SIT	Sit
Ustajanje	STD	Stand
Hod	W	Walk

Sustav MTM-1 je namijenjen za analizu rada u masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji. Ovakvu proizvodnju karakterizira podjela rada na kratke operacije i zadatke uz visok broj ponavljanja dok zahtjevi za točnost zbog višestrukog ponavljanja ovih operacija su vrlo visoko postavljani.

Sustav MTM-2 je sastavljen od kombinacije osnovnih pokreta definiranih u okviru sustava MTM-1. Sastoji se od ukupno 11 elemenata. MTM-2 se koristi za analizu ručnih standardnih operacija u serijskoj proizvodnji te se mogu vidjeti u tablici 3.

**Tablica 3. Pokreti sustava MTM-2**

Element	Izvorni naziv	Simbol
Uzimanje	Get	GA, GB, GC
Dodatak za težinu kod uzimanja	Get weight	GW
Postavljanje	Put	PA, PB, PC
Dodatak za težinu kod postavljanja	Put weight	PW
Ponovno hvatanje	Regrasp	R
Pritiskivanje	Apply pressure	A
Okretanje ručice	Crank	C
Pokret očiju	Eye action	E
Pokret stopala	Foot motion	F
Korak	Step	S
Saginjanje i uspravljanje	Bend and raise	B

Element *uzimanje* je sastavljen od kombinacije *posezanja*, *hvatanja* i *ispuštanja* iz sustava MTM-1, dok je *postavljanje* sastavljeno od *prenošenja* i *sastavljanja*. U proizvodnji je vrijeme vrlo značajan faktor te se metoda MTM veže upravo oko mjerenja vremena pojedinih pokreta. Međutim, postoje i druge veličine koje se vežu uz pokret. Jedna od takvih je i sila koja se javlja djelovanjem ruku ili prstiju na neki predmet.

Zbog kontinuiranog razvoja sustava MTM razvijena su i softverska rješenja koja omogućuju korisniku učinkovitije upravljanje vremenom, a neka od njih su :

- TiCon – softver koji stvara transparentan i standardiziran proces od upita kupca preko kalkulacije proizvoda do konačnog planiranja proizvodnje [13].
- EAWSdigital – inovativan pristup poboljšanju ergonomskog dizajna radnog mjesta. Glavni cilj je dobro planiranje rada [14].
- ProKondigital – softver koji pomaže u identificiranju vremena koje se može pojaviti zbog potencijalnih prepreka pri montaži. Omogućuje procjenu alternativa pri proizvodnji proizvoda kako bi se uštedio novac i povećala produktivnost [15].

Sustav MTM također nalazi svoju primjenu i u CAD softverima, poput Catia-je i Siemens NX-a.

### 3. NAČINI I OPREME KOJE SE KORISTE PRI SNIMANJU I ANALIZI POKRETA

Pokret definiramo kao radnju promjene položaja, pozicije ili orijentacije objekta ili pojedinih elemenata objekta (prsti šake ili kosti koje čine prst) s obzirom na neku referentnu točku. Promjene koje se događaju se bilježe kao razlike udaljenosti točaka promatranog objekta s obzirom na referentnu točku iskazane u metrima. Tablica 4. prikazuje značajke fizikalnih veličina pri razmatranju pokreta.

**Tablica 4. Veličine koje definiraju pokret**

Fizikalna veličina	Oznaka	Mjerna jedinica
Početna pozicija	$x_1, y_1, z_1$	m
Krajnja pozicija	$x_2, y_2, z_2$	m
Brzina	v	m/s
Ubrzanje	a	m/s <sup>2</sup>
Orijentacija	$\alpha$	°

Za snimanje i analizu pokreta mogu se koristiti sve tehnike koje omogućuju mjerenje neke promjenjive veličine čija je promjena posljedica pokreta. Klasični pristup snimanju i analizi pokreta jest uporabom mjerne trake, mikrometra ili drugog uređaja koji mjeri udaljenost od referentne točke i ručno bilježenje promjena promatrane udaljenosti. Na osnovi tih promjena u vremenu  $t$  može se proračunati prosječna brzina i ubrzanje gibanja [6].

U današnje vrijeme razvijeno je mnogo različitih načina za snimanje pokreta. U suštini se dijeli na dvije skupine:

- optički sustavi za snimanje
- neoptički sustavi za snimanje.

#### 3.1. Optički sustavi za snimanje

Optičko snimanje pokreta zahtjeva kamere postavljene oko željenog volumena i reflektirajuće senzore postavljene na tijelo na glavnim zglobovima i segmentima koji su od interesa kameri. Kamere, koje vide odraze, emitiraju infracrveno svjetlo koje se odbija od markera. Kada više kamera vidi odraz markera, položaj tog markera u 3D prostoru određuje se do submilimetarske točnosti. Stoga što više kamera, to bolje, jer dijelovi tijela mogu blokirati

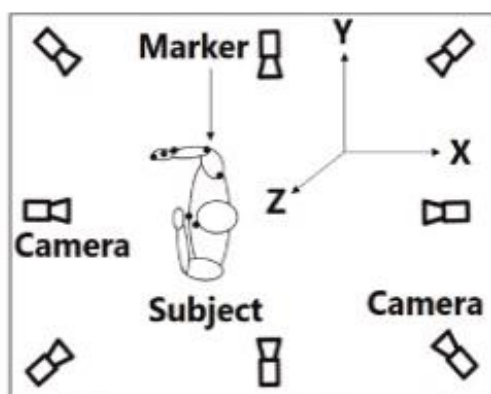


ili zasjeniti druge markere tijekom kretanja [16]. Hvatanje performansi vrlo je precizno s malim pojavljivanjem pogrešaka, ali animator nije u mogućnosti koristiti softver bez obuke. Optički sustavi za snimanje nalaze primjenu u filmovima, TV serijama, robotici, virtualnoj stvarnosti itd. Slika 9. prikazuje pokrete glumca Toma Hanksa koji su snimljeni optičkim sustavom za snimanje pokreta, za potrebe filma „Polarni ekspres“.



Slika 9. Optički sustav za snimanje [17]

Sustav bilježenja pokreta markerom je tehnologija praćenja kretanja gdje se koristi posebna oprema. Osoba nosi odijelo s ugrađenim reflektirajućim oznakama. Dok se osoba kreće ili zauzima položaje, položaji markera su fiksirani kamerama i dolaze do računala, gdje se sažimaju u jedan trodimenzionalni model koji točno reproducira kretanja osobe u stvarnom vremenu. Sustav snimanja pokreta markerom omogućuje reprodukciju izraza lica osobe. U tom slučaju potrebni su markeri na licu koji omogućuju prepoznavanje glavne mimičke aktivnosti. Na slici 10. je prikazano kako markeri se stavljaju na čovjeka.

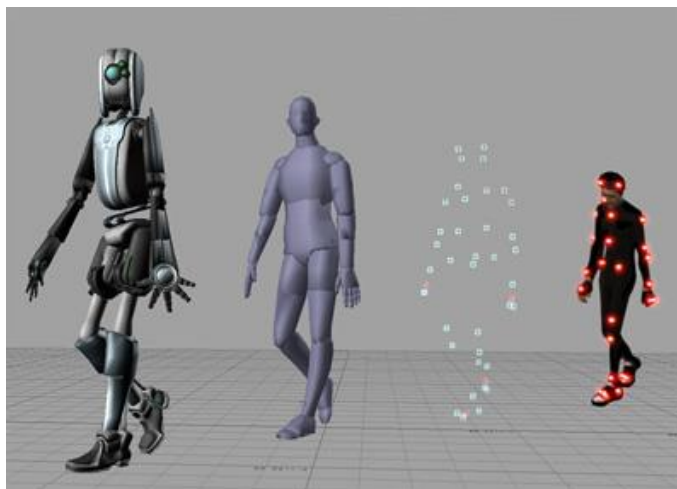


Slika 10. Sustav sa markerima [43]

### 3.1.1. Aktivni markeri

Sustav koji se temelji na aktivnim markerima koristi svjetlosne diode (LED) kao markere za snimanje pokreta. To znači da su markeri sami izvor svjetlosti. Ovi sustavi daju

veliko vidno polje i hvataju pokrete uz visoku brzinu kadrova, uz pouzdanu točnost i manje kašnjenje. Slika 11. prikazuje aktivni sustav markera visoke rezolucije koja pruža submilimetarski položaj u stvarnom vremenu.

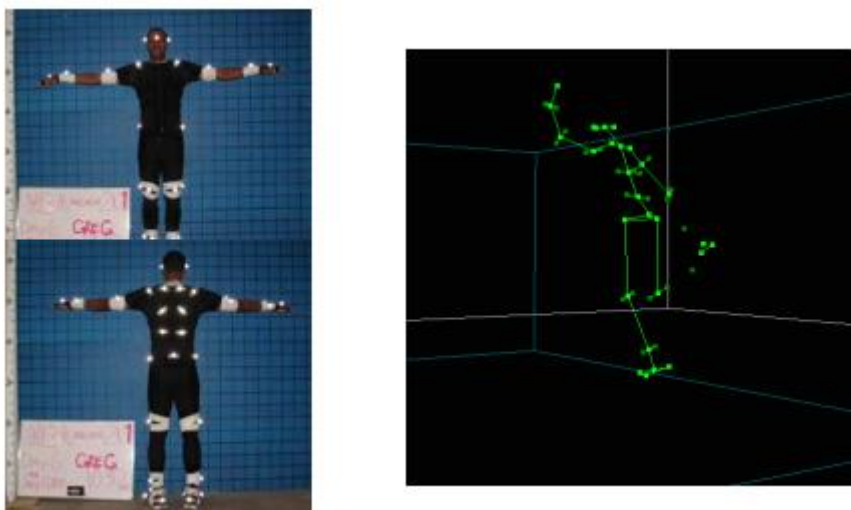


**Slika 11. Snimanje aktivnim markerima [18]**

Razvijena je i jedna varijanta koja koristi vremenski modulirane aktivne markere. Omogućuje točniju identifikaciju markera u vremenu, u višoj prostornoj i vremenskoj rezoluciji. Veća točnost prijenosa pokreta zahtjeva pažljiviju obradu podataka, a i time i snažniju opremu i softver za snimanje pokreta.

### **3.1.2. Pasivni markeri**

Za razliku od aktivnih markera i magnetskih sustava, pasivni sustavi ne zahtijevaju od korisnika da nosi žice, tj. elektronsku opremu i time ne omogućuje identifikaciju svakog markera. Pasivni optički sustavi koriste markere obložene retroreflektirajuće materijale za reflektiranje svjetlosti koja se stvara u blizini leće kamere i subjekti ih jedva osjete. Ti markeri se povezuju na određene dijelove kostiju tijela za snimanje pokreta. Na slici 12. je prikazan sustav s pasivnim markerima.



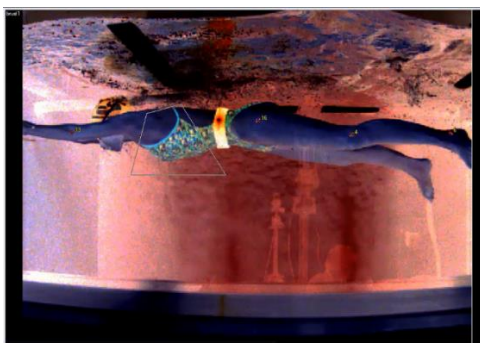
Slika 12. Sustav s pasivnim markerima [19]

### 3.1.3. Polupasivni neprimjetni markeri

U ovoj tehnologiji se koristi multi-LED projekti velike brzine umjesto kamera velike brzine. Umjesto aktivnih i pasivnih markera, ova tehnologija snimanja pokreta primjenjuje fotoosjetljive oznake markera za dekodiranje optičkih signala. Oznake za označivanje mogu se odrediti ne samo njihovo mjesto već i osvjetljenje, njihovu orijentaciju i refleksiju. Ova je tehnologija prikladnija za snimanje fiksnih pokreta i emitiranje virtualnih setova u stvarnom vremenu.

### 3.1.4. Podvodno snimanje pokreta

Glavni dio sustava jest podvodna kamera koja ima vodootporno kućište. Kućište ima završnu obradu otpornu na koroziju i klor, što ga čini savršenim za korištenje u bazenu. Kamere velike brzine mogu biti infracrvene kao i u obliku stošca s LED svjetlom. Na slici 13. je prikazano podvodno snimanje pokreta.



Slika 13. Podvodno snimanje pokreta [18]

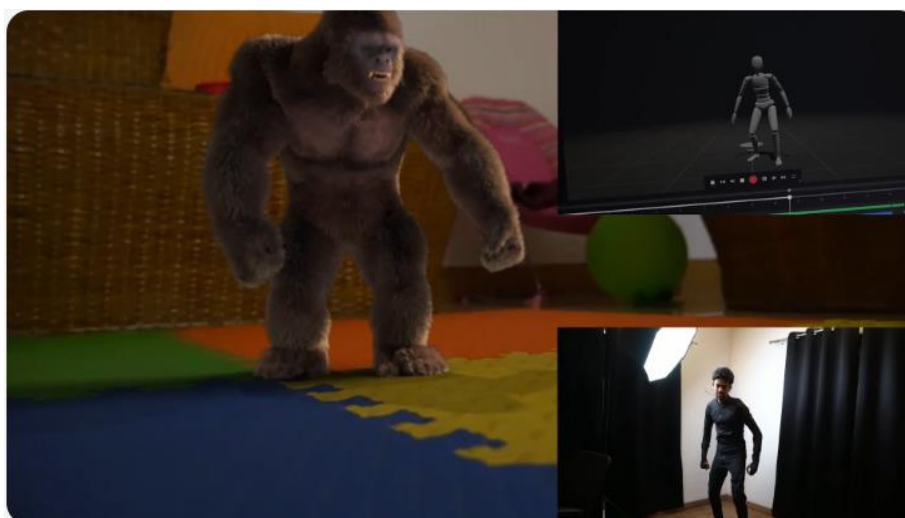
### 3.2. Neoptički sustavi za snimanje

Neoptički sustavi snimanja pokreta dijele se prema vrsti senzora. Postoje tri više takvih senzora:

- inercijski
- mehanički
- magnetski.

#### 3.2.1. Inercijski senzori pokreta

Inercijsko snimanje pokreta koristi inercijske mjerne jedinice (*engl. Inertial measurement unit*, IMU) s ugrađenim sensorima za otkrivanje položaja i kretanja. To obično uključuje žiroskope, akceleratora i ponekad magnetometre. Žiroskop mjeri kutni brzinu. Koristi se za određivanje rotacijske orijentacije inercijske mjerne jedinice. Akcelerator detektira ubrzanje i gravitacijsku silu. To se zatim koristi za izračunavanje promjene položaja u odnosu na gravitaciju (nagib), kao i kretanje IMU-a kroz ubrzanje u bilo kojem smjeru. Magnetometar mjeri magnetsko polje Zemlje ili umjetno stvoreno magnetsko polje. To se koristi za orijentaciju inercijskih mjernih jedinica. Svaki senzor zahtjeva bazni položaj iz kojeg se kreće. To omogućuje da se otkriveni pokreti prevedu u značajne podatke (kretanje u odnosu na položaj u prostoru). Snimanju inercijskog gibanja nedostaje apsolutno pozicioniranje. Stoga je praktički nemoguće uskladiti položajnu točnost optičkog praćenja. Unatoč pogodnostima pristupačnosti, ono što dobijete u uštedama, gubite u točnim podacima. Za animaciju i druge funkcije koje ne zahtijevaju visoku razinu preciznosti za analizu, inercijski sustavi bili bi odlična opcija [16]. Na slici 14. je prikazan inercijsko snimanja pokreta.



Slika 14. Inercijski sustav snimanja pokreta [17]

### **3.2.2. Mehanički senzori pokreta**

Mehanički sustavi za snimanje pokreta izravno prate kutove zglobova tijela i često se nazivaju egzoskeletni sustavi za snimanje pokreta zbog načina na koji su senzori pričvršćeni na tijelo. Zatim se podaci o kutovima prenose na računalo. Izvođač pričvršćuje strukturu sličnu skeletu na svoje tijelo, a kako se oni kreću, tako se kreću i zglobni mehanički dijelovi, mjereći relativno kretanje izvođača. Ovakvi sustavi su jeftiniji dosta od ostalih. Također, mehanički senzori pokreta mogu pratiti samo pokrete tijela, a ne i izraz lica.

### **3.2.3. Magnetski senzori pokreta**

U magnetskim sustavima se izravno pokazuje položaj i orijentacija senzora u odnosu na odašiljače. U magnetskim sustavima markeri su magneti, a prijemnici djeluju kao kamere. Sustav skenira njihove položaje izobličjenjem magnetskog toka. Magnetski sustavi koriste centralno smješteni odašiljač i senzore koji prenose položaj i orijentaciju u mjerenom prostoru za hvatanje kretanja. Senzori mogu mjeriti svoj prostorni odnos prema odašiljaču jer su uronjeni u elektromagnetsko polje. Budući da izlaz senzora ima šest stupnjeva slobode, korisni rezultati mogu se dobiti s mnogo manjim brojem senzora nego što bi bilo potrebno optičkim sustavom. Optički sustavi nude veću točnost i slobodu izvođača, ali su i skuplji.

### **3.2.4. Hibridni sustavi**

Hibridni sustavi snimanja pokreta rijetki su, ali sve popularniji kako se sve više studija okreće virtualnoj produkciji i virtualnim događajima. Virtualni događaji sastoje se ili u potpunosti od 3D svijeta ili uključuju snimke akcije uživo. Ljudsko kretanje snima se inercijskim snimanjem pokreta, dok se optičko snimanje kretanja koristi za praćenje pokretnih objekata u sceni (poput rekvizita ili elemenata okoliša), kao i za dodavanje dodatnog sloja vjernosti podataka (na primjer kako bi se osiguralo točno globalno pozicioniranje izvođača tijekom cijele produkcije). Optičko snimanje pokreta obično se temelji na markerima i ne integrira se s drugim sustavima za snimanje pokreta bez pomoći stručne osobe .

Jedan od poznatijih proizvođača opreme za snimanje pokreta jest Rokoko koji razvija hibridne sustave snimanja pokreta za stvaranje cjevovoda animacije pune izvedbe u stvarnom vremenu koje je lako postaviti, na primjer korištenjem elektromagnetskog polja senzorske tehnologije.

### 3.3. Pružatelji visoko naprednih sustava optičkog snimanja pokreta

Sustavi koji se razvijaju od sljedeće spomenutih pružatelja daju izvrsne i pouzdane podatke. Podaci koji se mogu uhvatiti također mogu biti mnogo svestraniji i precizniji. S druge strane, ovi se sustavi mogu činiti nezgrapnima i zahtijevat će više vremena za postavljanje (bit će potreban poseban i optimiziran studijski prostor, kao i iskusna ekipa operatera), s cijenom koja će biti nedostupna većini manjih produkcije. Iz tog razloga nisu prikladni za brzi pregled, jednostavne animacije ili proračunske produkcije. Hollywood favorizira optičko snimanje pokreta koje koristi tri glavne komponente; tragači ili markeri postavljeni na glumca, specijalne kamere za snimanje pokreta koje mogu izračunati dubinu i softver za prevođenje tih podataka u upotrebljivu animaciju.

Tijekom godina, uređaji za snimanje i analizu pokreta se razvija u iznimno korisnu tehnologiju za istraživanje i industriju, a u nastavku će biti prikazani neki od suvremenih uređaja.

#### Optitrack Motion Capture

Najveći pružatelj snimanja pokreta na svijetu, koji nudi optičko praćenje visokih performansi po najpristupačnijim cijenama u industriji. Pruža softver za snimanje pokreta i kamere za praćenje velike brzine. Primjenjuje se u skoro svim područjima gdje je potrebno snimanje pokreta kao npr. virtualna stvarnost, animacija, robotika, filmovi. Na slici 15. je prikazana najpreciznija kamera za snimanje i analizu, Prime 41.



Slika 15. Kamera Prime 41 [20]

Pioniri u razvoju niza tehnologija – od optičkih do inercijskih i virtualne stvarnosti. Posebno su istaknuti u virtualnoj produkciji nudeći prilagođene sustave za snimanje pokreta za bilo koju primjenu: prirodne znanosti, filmove, virtualnu stvarnost i inženjerstvo. Vicon je korišten za potrebe snimanja serije „Mandalorian“. Na slici 16. je prikazana najmoćnija kamera za snimanje pokreta u virtualnoj stvarnosti.



Slika 16. Viper kamera [21]

### Qualisys Motion Capture

Qualisys je vodeći pružatelj preciznog snimanja pokreta i sustava za praćenje 3D pozicioniranja. Sustav omogućuje korisnicima izvođenje 2D, 3D i šestosnih snimanja podataka u stvarnom vremenu, s minimalnim zakašnjenjem. Poznati po snimanju pokreta pri kretanju konja, što je tehnički izazov koji bi malo koji sustav za snimanje pokreta bio spreman prihvatiti. Uglavnom rade u područjima sporta, biomehanike i inženjerstva. Podvodne kamere Qualisys (Slika 17.) jedine su komercijalno dostupne optičke kamere za snimanje pokreta za podvodnu upotrebu i dizajnirane su za mobilnost, robusnost i rad bez problema. Sve kamere su testirane na pritisak do dubine od 40 m. Težina i obujam su uravnoteženi kako bi fotoaparat dobio neutralan uzgon za jednostavno rukovanje u vodi.



Slika 17. Podvodna kamera [22]

Mo-Sys je nagrađivani, svjetski poznati proizvođač rješenja za virtualnu produkciju i robotiku kamere za film, TV serije i emitiranje. Poznate po svojoj snazi, visokoj preciznosti, odzivu i jednostavnosti upotrebe, Mo-Sys daljinske glave kamera sada su korištene u nizu filmova nagrađenih Oscarom (Slika 18.). S izborom značajki naše glave pružaju visoku kvalitetu i za filmsku i za televizijsku industriju.



**Slika 18. Mo-Sys kamera korištena za snimanje filmova [23]**

### Rokoko

Rokoko sustavi balansiraju brzinu, kvalitetu i proračun. Budući da nisu potrebne skupe kamere visoke razlučivosti ili dubinske kamere i namjenski studijski prostor, ulazna cijena je znatno niža od optičkih sustava. Rokoko Smartsuit Pro u početku su razvili studenti animacije koji su bili frustrirani zbog cijene snimanja pokreta. Rezultat je izdržljivo odijelo za snimanje pokreta koje točno prati vaše pokrete. Budući da odijela za snimanje pokreta ne uključuju praćenje prstiju, potreban je par rukavica za praćenje pokreta prstiju. Ono po čemu se Smartgloves izdvajaju je to što uključuju jedinstvenu tehnologiju spajanja senzora, iskorištavajući najbolje od inercijskih mjernih jedinica i elektromagnetskog polja senzora u isto vrijeme, što nikada prije nije bilo poznato u ovoj cjenovnoj kategoriji. Na slici 19. je prikazan Rokoko Smartsuit Pro, Smartgloves i detekcija lica.





Slika 19. Rokoko tehnologija [24]

### 3.4. Suvremeni softveri snimanja pokreta

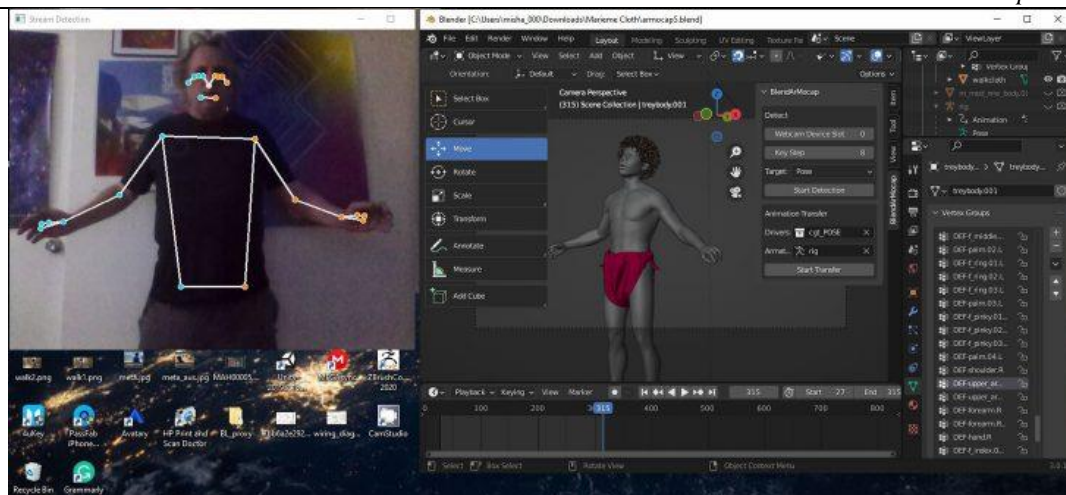
U ovom poglavlju će se prikazati neki od softvera za snimanje pokreta. Softver za snimanje pokreta prvenstveno je diktiran sustavom za snimanje koji koristite. Na primjer, Optitrackov softver nije kompatibilan s Rokokovim softverom. No, postoji mnogo softvera za 3D animaciju u koji možete izvesti podatke o animaciji bez obzira na to koje tehnike snimanja pokreta koristite.

#### Blender

Blender (Slika 20.) je besplatni paket za 3D stvaranje otvorenog koda. Podržava cjelokupni 3D sustav—modeliranje, opremanje, animacija, simulacija, renderiranje, sastavljanje i praćenje pokreta, čak i uređivanje videa i stvaranje video igara. Napredni korisnici koriste Blenderov API za Python skriptiranje za prilagodbu aplikacije i pisanje specijaliziranih alata. Blender je vrlo prikladan za pojedince i male studije koji imaju koristi od njegovog jedinstvenog sustava i razvojnog procesa.

Blender je višeplatformski i jednako dobro radi na Linux, Windows i Macintosh računalima. Njegovo sučelje koristi sučelje OpenGL za pružanje dosljednog iskustva. Kako bi se potvrdila određena kompatibilnost, popis podržanih platformi označava one koje redovito testira razvojni tim.

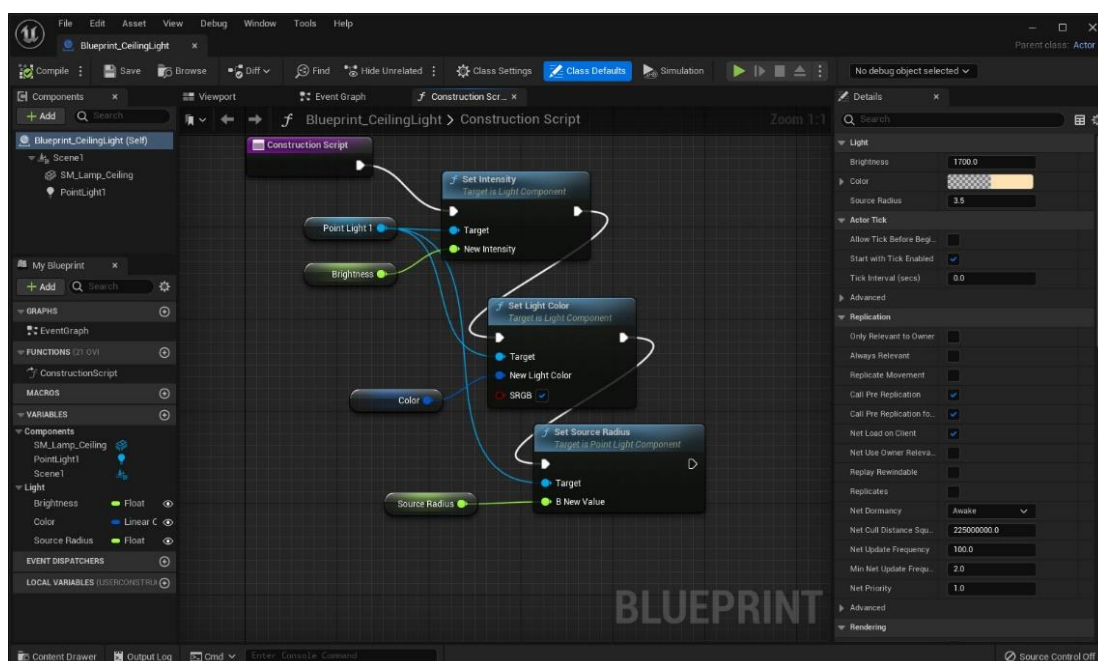
Kao projekt, Blender je vođen pod općom javnom licencom GNU, javnost je ovlaštena napraviti male i velike promjene u bazi koda, što dovodi do novih značajki, ispravaka grešaka i bolje upotrebljivosti.



Slika 20. Softver Blender [25]

### Unreal Engine

Unreal Engine (UE) je softver za 3D računalne grafičke igre koji je razvio Epic Games, prvi put prikazan u pucačkoj video igri u prvom licu Unreal iz 1998. godine. Prvobitno je razvijen za PC pucačine u prvom licu te se od tada se koristi u raznim žanrovima igara i doživio je usvajanje u drugim industrijama, ponajviše u filmskoj i televizijskoj industriji. Napisan u C++, Unreal Engine ima visok stupanj prenosivosti, podržavajući širok raspon platformi za stolna računala, mobilne uređaje, konzole i virtualnu stvarnost. Iako je primaran slučaj upotrebe u svrhu razvoja video igara, Unreal Engine (Slika 21.) pruža snažne mogućnosti korištenja za snimanje pokreta i za njihove animacije.



Slika 21. Softver Unreal Engine [26]

Maya (Slika 22.) je aplikacija koja se koristi za generiranje 3D materijala za upotrebu u filmu, televiziji, igrama i reklamama. Korisnici definiraju virtualni radni prostor (scenu) za implementaciju i uređivanje medija određenog projekta. Scene se mogu spremati u različitim formatima, a zadani je .mb (Maya D). Maya koristi arhitekturu grafa čvorova. Elementi scene temelje se na čvorovima, a svaki čvor ima vlastite atribute i prilagodbu. Kao rezultat toga, vizualni prikaz scene u potpunosti se temelji na mreži međusobno povezanih čvorova, ovisno o informacijama o drugima.



Slika 22. Softver Autodesk Maya [27]

### Unity

Unity (Slika 23.) je softver za igre koja je razvila tvrtka Unity Technologies, prvi put najavljen i objavljen u lipnju 2005. godine na svjetskoj konferenciji tvrtke Apple Inc., a kao ekskluzivni pokretač igara za Mac OS X. Sam sustav se od tada postupno proširuje kako bio podržao razne platforme za stolna računala, mobilne uređaje, konzole i virtualnu stvarnost. Unity je posebno popularan za razvoj mobilnih igara za iOS i Android sustave. Osim za stvaranje 3D i dvodimenzionalnih (2D) igara, Unity se može koristiti i za razvoj interaktivnih simulacija i drugih virtualnih iskustava. Osim video igara, Unity se koristi i u drugim područjima, poput filma, automobilske industrije, arhitekture, konstrukcije, građevinarstva i inženjerstva.



Slika 23. Softver Unity [28]

### 3.5. Suvremeni uređaji snimanja pokreta u virtualnoj stvarnosti

Virtualna stvarnost (engl. *virtual reality*, VR) je uporaba računalnog modeliranja i simulacije koja omogućava korisniku da stupi u interakciju s umjetnom 3D okolinom. Primjena virtualne stvarnosti uranja korisnika u računalno generiranu okolinu koja simulira stvarnost kroz uporabu interaktivnih uređaja koji šalju i primaju informacije i nose se kao naočale, slušalice, rukavice ili odijela. U uobičajenom VR formatu, korisnik koji nosi kacigu sa stereoskopskim zaslonom vidi animirane slike simulirane okoline.

Iluzija „uronjenosti“ (teleprisutnosti) je pod utjecajem senzora pokreta koji čitaju korisnikove pokrete i prilagođavaju pogled na zaslon u skladu s tim, obično u stvarnom vremenu (tj. u istom trenutku kada korisnik napravi pokret). Zato, korisnik može proći kroz nekoliko simuliranih soba, i iskusiti promjenu gledišta i perspektiva koje su uvjerljivo povezane s njegovim ili njenim vlastitim pokretima glave i koracima. Ako korisnik nosi podatkovne rukavice opremljene uređajima s povratnom silom koje pružaju osjećaj dodira, on ili ona može podignuti i manipulirati objektima koje vidi u virtualnoj okolini. Na sličan način, pružanjem povratnih informacija, rade i igraće konzole koje vibriraju kada se nešto dogodi na zaslonu (Slika 24.).



**Slika 24. Virtualna stvarnost u obliku video igre [29]**

Najčešće rezervirano za videoigre, neki virtualni sustavi mogu uključivati i pokretnu traku za trčanje koja simulira hodanje ili trčanje. Kada korisnik trči brže u stvarnom svijetu, njihov avatar može se kretati istom brzinom u virtualnom svijetu. Kada se korisnik prestane kretati, zaustavit će se i lik u igri.

### Oculus Rift

Oculus Rift je linija slušalica za virtualnu stvarnost koju je razvio i proizveo Oculus VR, odjel Meta Platforms te je pušten 28. ožujka 2016. Oculus Rift ima rezoluciju zaslona od  $2160 \times 1200$  piksela ( $1080 \times 1200$  po jednom oku) i brzinom osvježavanja od 90 Hz te sensorima za praćenje pokreta glave sa šest stupnjeva slobode – detekcijom pokreta u svim smjerovima. Kako je u uređaju koji gledamo na nekoliko centimetara razmaka od očiju, vrlo je bitno da je taj ekran visoke razlučivosti što doprinosi realnosti prikaza slike. Računalo se spaja preko DVI/HDMI i USB sučelja. Sam uređaj se nalazi na Slika 25.



**Slika 25. Naočale Oculus Rift [30]**

HTC Vive (Slika 26.) za razliku od Oculus Rifta ne koristi jedan ekran podijeljen na dva dijela, već dva zasebna zaslona rezolucije  $1920 \times 1080$  piksela i brzinu osvježavanja od 90 Hz za svako oko. S razvojem su otišli korak dalje od Oculus Rifta te su se razvila i dva uređaja za praćenje pokretanja ruke koja se drži u šaci. Također dolazi sa dvije laserske bazne stanice koje su postavljene na dva kraja sobe mogu prostorno pratiti pokrete osoba, na prostoru od oko 20 metara kvadratnih. Ovaj uređaj ukupno koristi preko 70 senzora za praćenje pokreta.



**Slika 26. Naočale HTC Vive [31]**

### Valve index

Valve indeks (Slika 27.) uređaj je virtualne stvarnosti američke tvrtke Valve iz 2019. godine. Uređaj koristi IPS LCD zaslon s brzim prebacivanjem s rezolucijom  $1440 \times 1600$  za svako oko, što daje kombiniranu rezoluciju od  $2880 \times 1600$ . Paneli mogu raditi pri frekvencijama osvježavanja od 80 Hz, 90 Hz, 120 Hz ili trenutno ispitivanom načinu rada od 144 Hz. Vidno polje je  $130^\circ$ , ali korisnici izvještavaju o praktičnom vidnom polju od  $120^\circ$ .



**Slika 27. Naočale Valve Index [32]**

#### 4. UREĐAJ PERCEPTION NEURON 2.0

Za potrebe snimanja pokreta u ovom radu će se koristiti uređaj Perception Neuron 2.0, stoga će ovo poglavlje biti usmjereno na detaljni opis spomenutog uređaja. Perception Neuron je proizvod kineske tvrtke Noitom Ltd.

S timom inženjera posvećenih razvoju i širenju primjene snimanja pokreta, Noitom kontinuirano razvija tehnologiju snimanja pokreta u svrhu razvoja video igara, vizualnih efekata, virtualne stvarnosti, animacije i drugo. S primarnim ciljem da tehnologiju snimanja pokreta učine dostupnim svakome opravdavaju svoj naziv tvrtke. Samo ime Noitom je zapravo obrnuto napisana riječ za pokret (engl. *motion*) [33].

Perception Neuron je uređaj koji se razvija od 2014, te je zamišljen poput tipkovnice za tijelo. Postavljanjem senzora na tijelo, uređaj je sposoban prevesti ljudske pokrete u digitalne podatke koji se mogu interpretirati i koristiti za filmske specijalne efekte, animaciju, ergonomiju, video igre i zaštitu od sportskih ozljeda pomoći jedne od najmanjih inercijskih mjernih jedinica (IMU) na svijetu. Najnovije izdanje je Perception Neuron 3 (Slika 28.), ali u ovome radu će se koristiti starija verzija 2.0.



Slika 28. Perception Neuron 3 [33]

Uređaj Perception Neuron 2.0 prije korištenja dolazi zapakiran u torbi, koja ima oko 2,2 kg i vidljiv je na slici 29.



**Slika 29. Zapakiran u torbu uređaj Perception Neuron**

Uređaj Perception Neuron 2.0 za vrijeme korištenja je prikazana na slici 30.



**Slika 30. Perception Neuron 2.0 za vrijeme korištenja [34]**



#### 4.1. Dijelovi uređaja i oprema

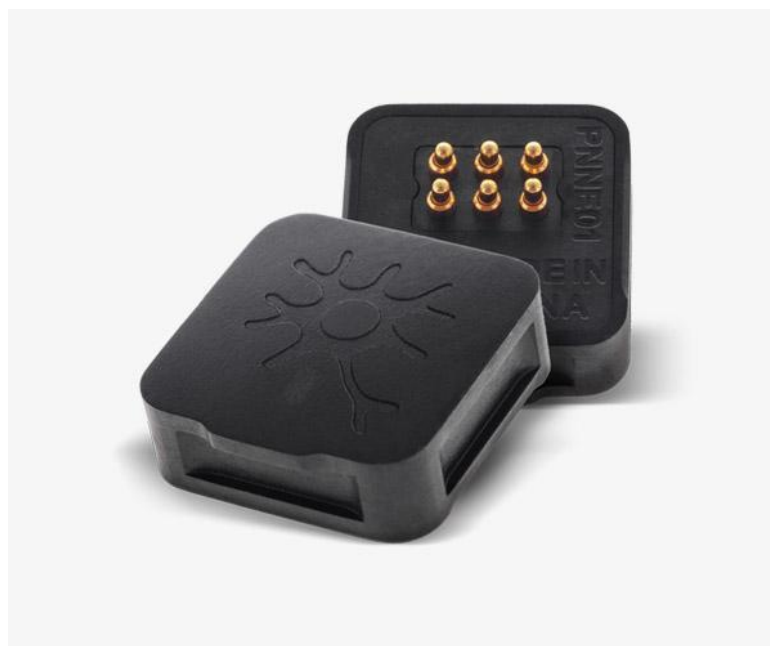
Na slici 31. su prikazani zapakirani dijelovi Perception Neurona.



**Slika 31. Zapakirani dijelovi Perception Neurona**

Uređaj Perception Neuron 2.0 se sastoji od [35]:

1. 32 neurona – neuron je inercijska mjerna jedinica, malen i lagan individualni senzor, koji se sastoji od giroskopa, akcelerometra i magnetometra



**Slika 32. Senzor neuron [35]**

2. koncentrator (HUB) ili čvorište – sklop koji služi kao sredstvo preko kojeg se usredotočuje tok podataka između opreme i računala



**Slika 33. Koncentrator**

3. USB kabel za vanjsku bateriju i USB kabel za spajanje koncentratora i računala
  - USB kabel za spajanje koncentratora na vanjsku bateriju, ukoliko se koristi bežični način komunikacije s računalom (crveni kabel)
  - USB kabel za direktno spajanje HUB-a i računala (crni kabel)



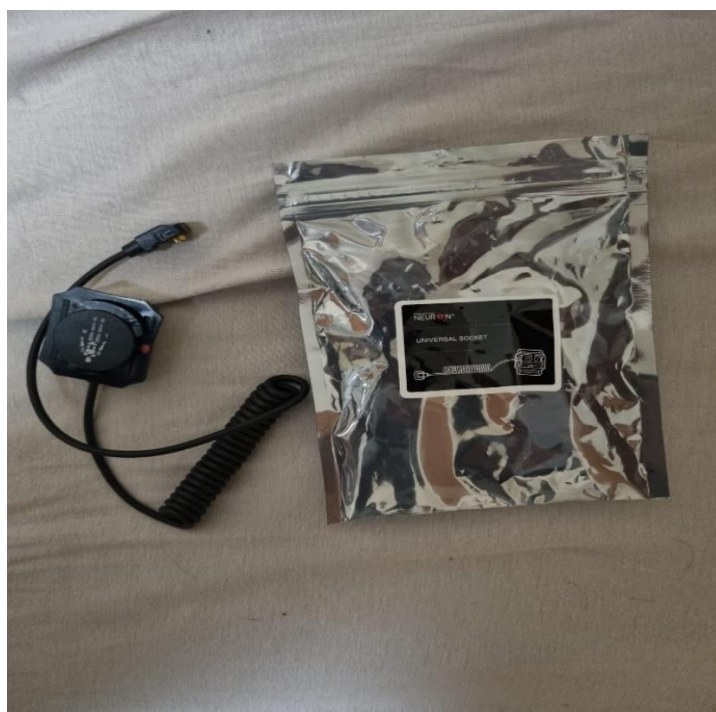
**Slika 34. Kabel za vanjsku bateriju (crveno) i kabel za direktno spajanje (crno)**

4. kabel za prijenos podataka – prijenos podataka između neurona



**Slika 35. Kabel za prijenos podataka**

5. univerzalni *socket* – u slučaju zamjene služi kao pomoćni plan za prijenos podataka



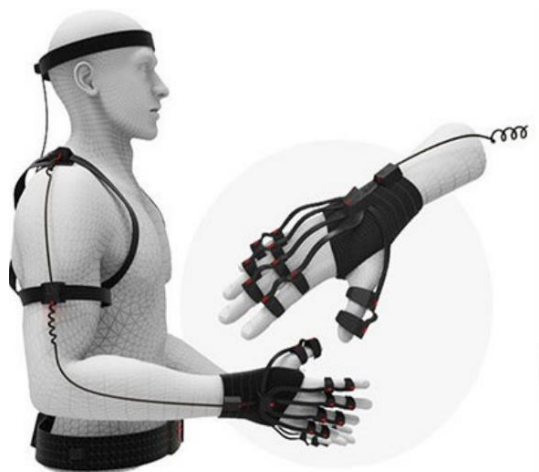
**Slika 36. Univerzalni socket**

6. rukavice – nalaze se neuroni, tj. senzori koji snimaju pokrete prstiju i šake



**Slika 37. Rukavice [35]**

7. set remena – remeni na koji se stavljaju neuroni i koncentrator (HUB) i remeni se nalaze u sljedeće četiri vrećice:
- u prvoj vrećici se nalazi remeni za gornji dio tijela, koji se vide na slici 35
  - druga vrećica uključuje već spomenute rukavice za snimanje šake i prstiju
  - u trećoj vrećici nalaze se remeni za nadlakticu i za šaku bez prstiju



**Slika 38. Remeni za gornji dio tijela [35]**

- u zadnjoj vrećici se nalaze remeni za noge.

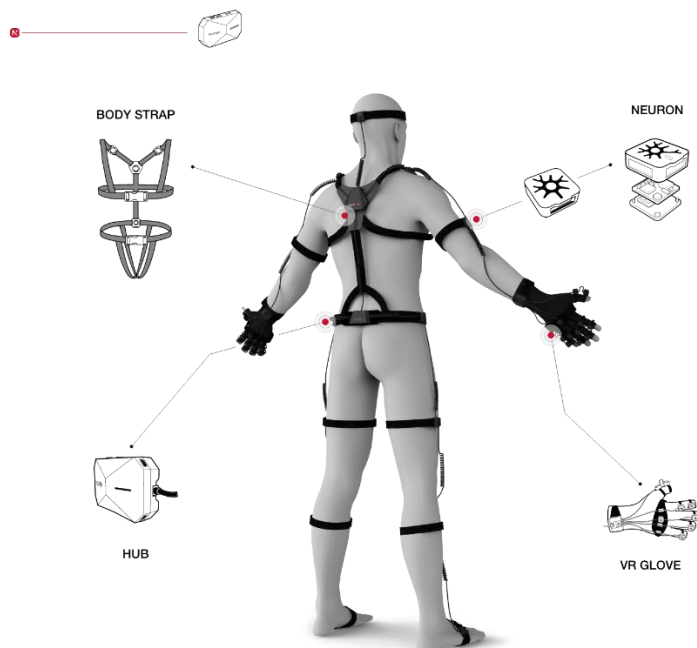


Slika 39. Remeni za noge [35]

Svi dijelovi na jednom mjestu se vide na slici 40. i 41.



Slika 40. Dijelovi Perception Neurona [35]



Slika 41. Perception Neuron dijelovi na čitavom tijelu [35]

#### 4.2. Priprema za korištenje

Postavljanje i rastavljanje Perception Neurona traje oko 15 minuta bez pomoći druge osobe. Remeni sa sensorima trebaju biti točno postavljeni na određena mjesta na tijelu čovjeka da ne bih softver krivo čitao podatke. Čvorovi Perception Neurona osjetljivi su alati koji koriste akcelerometre i magnetske senzore kako bi detektirali pokrete korisnika. Ovo je korisno za stvaranje jeftinog rješenja za snimanje pokreta. Problem je u tome što su ti čvorovi osjetljivi na magnete i mogu se uništiti ako su preblizu uređajima koji stvaraju magnetizam. Naime, preporuča se držanje podalje od elektroničkih uređaja poput tipkovnice, miševa i monitora. Podaci se mogu prenijeti s koncentrataora na računalo trima različitim načinima:

- putem Wi-Fi-a
- putem USB-a
- putem memorijske kartice pomoću ugrađenog mikro SD utora.

U slučaju bežične komunikacije s računalo, potrebno je koncentrador priključiti na USB vanjsku bateriju.

Spajanjem Perception Neurona preko koncentratora s računalom, opremom prikupljeni podaci o kretanju prenose se na računalo. Ovisno o broju priključenih neurona raste i složenost detekcije pokreta.

Perception Neuron se nakon povezivanja s računalom, povezuje sa softverom radi kalibracije, upravljanja sustavom, snimanja i izvoza podatkovnih datoteka za obradu u većini profesionalnih 3D alata i razvoj igara. Softver koji će biti korišten kao virtualno okruženje jest Axis Neuron.

### 4.3. Program Axis Neuron

Perception Neuron sustav za snimanje pokreta komunicira sa softverskom aplikacijom Axis Neuron. Axis Neuron prima i obrađuje podatke o kretanju. Bitnost programa je u tome što se preko njega vrši izvoz podataka u druge kompatibilne programe. Perception Neuron i Axis Neuron se mogu sinkrono povezati sa softverskim aplikacijama kao što su Unity, Maya i MotionBuilder [37].

U sustav su ugrađeni algoritmi za povezivanje ugrađenih podataka, dinamiku ljudskog tijela i fizike, koji omogućuju glatko i točno kretanje s minimalnim zakašnjenjem. Računalo, u nekom od kompatibilnih programa za snimanje pokreta, prikazuje kretnje izvedene korištenjem opreme, pri frekvenciji od 60 ili 120 sličica u sekundi. Maksimalni broj sličica u sekundi (engl. FPS – *Frames Per Second*) koje prikazuje računalo za do 18 povezanih neurona jest 120, a za 19 do 32 povezana neurona iznosi maksimalno 60 sličica u sekundi.

Axis Neuron može izvoziti podatke u BVH (engl. *BioVision Hierarchical data*) i FBX (engl. *Filmbox*) formatu. Sve softverske aplikacije sposobne čitati ove vrste datoteka mogu koristiti podatke snimanja pokreta snimljene putem Perception Neurona. Također, program je besplatan i dostupan svima.

#### 4.3.1. Snimanje podataka o pokretu

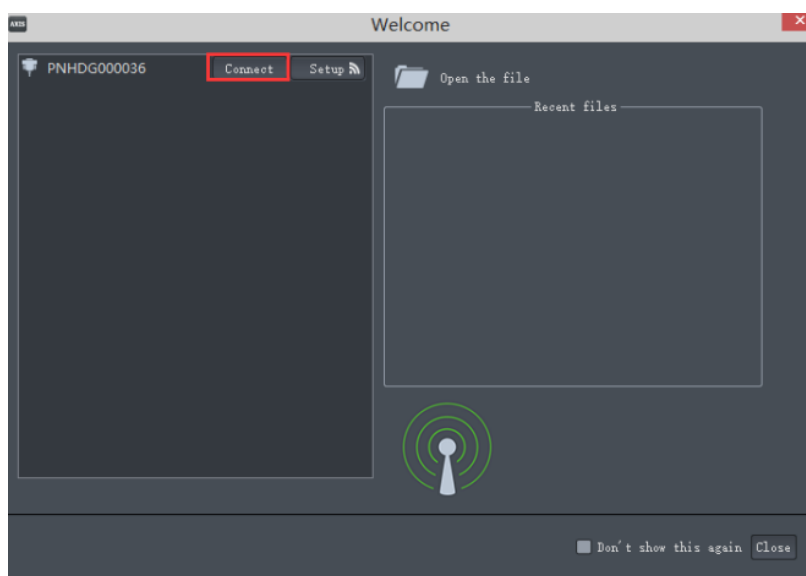
Nakon pravilnog pokretanja remena i senzora te pokretanja softvera Axis Neuron može se početi snimanje podataka o kretanju.

Prvo treba spojiti koncentrator (HUB) sa računalom pomoću USB kabela (crni). Jedna strana USB kabela povezuje se s podatkovnim priključkom koncentratora, a druga se povezuje s otvorenim USB priključkom na računalu.



**Slika 42. Povezivanje Perception Neuron-a sa računalom preko koncentratora [37]**

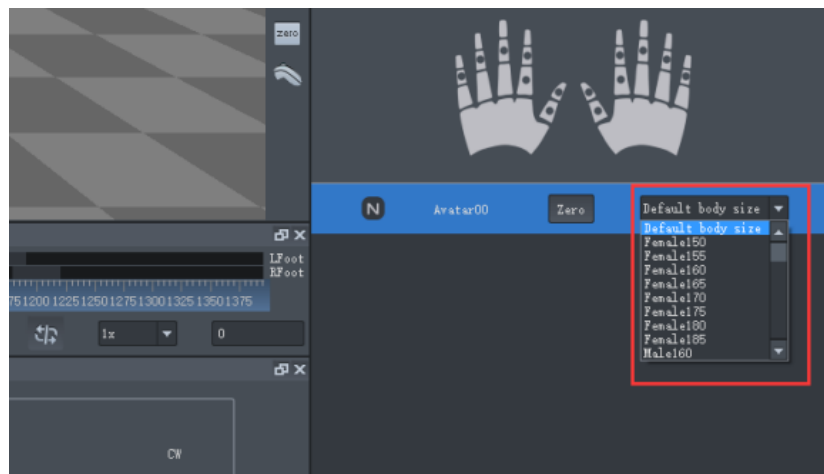
Kada se koncentrator uspješno prepozna, ID koncentratora će se prikazati na lijevoj ploči prozora dobrodošlice. Pritiskom na gumb „Connect“ počinje povezivanje koncentratora s računalom.



**Slika 43. Povezivanje koncentratora sa računalom [37]**

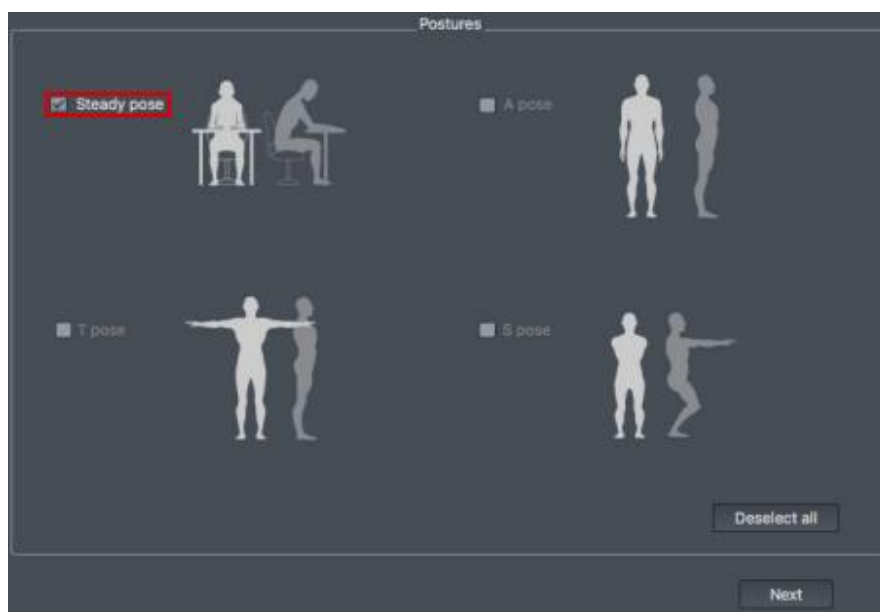
Veličinu modela na temelju vlastite visine je poželjno odabrati kako bi se dobilo što točnije iskustvo.





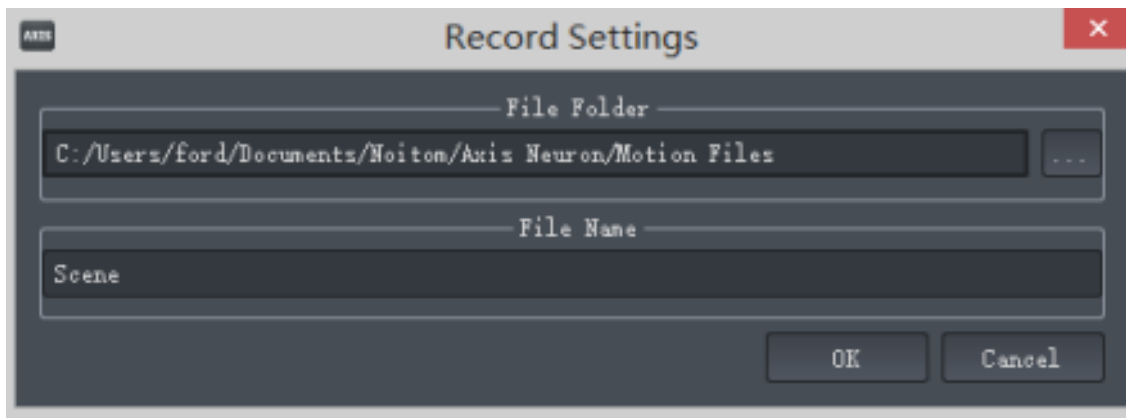
**Slika 44. Određivanje modela tijela [37]**

Zatim je potrebno pritisnuti na gumb „Calibrate“ da bi se izvršila kalibracija položaja. Kalibracija pomaže u usmjeravanju senzora kako bi se točno uhvatili podaci o kretanju. Kalibracija se vrši zauzimanjem određenih poza poput čučnja ili stajanja s raširenim rukama. Slika 45. prikazuje četiri kalibracijske pozicije.



**Slika 45. Kalibracija senzora [37]**

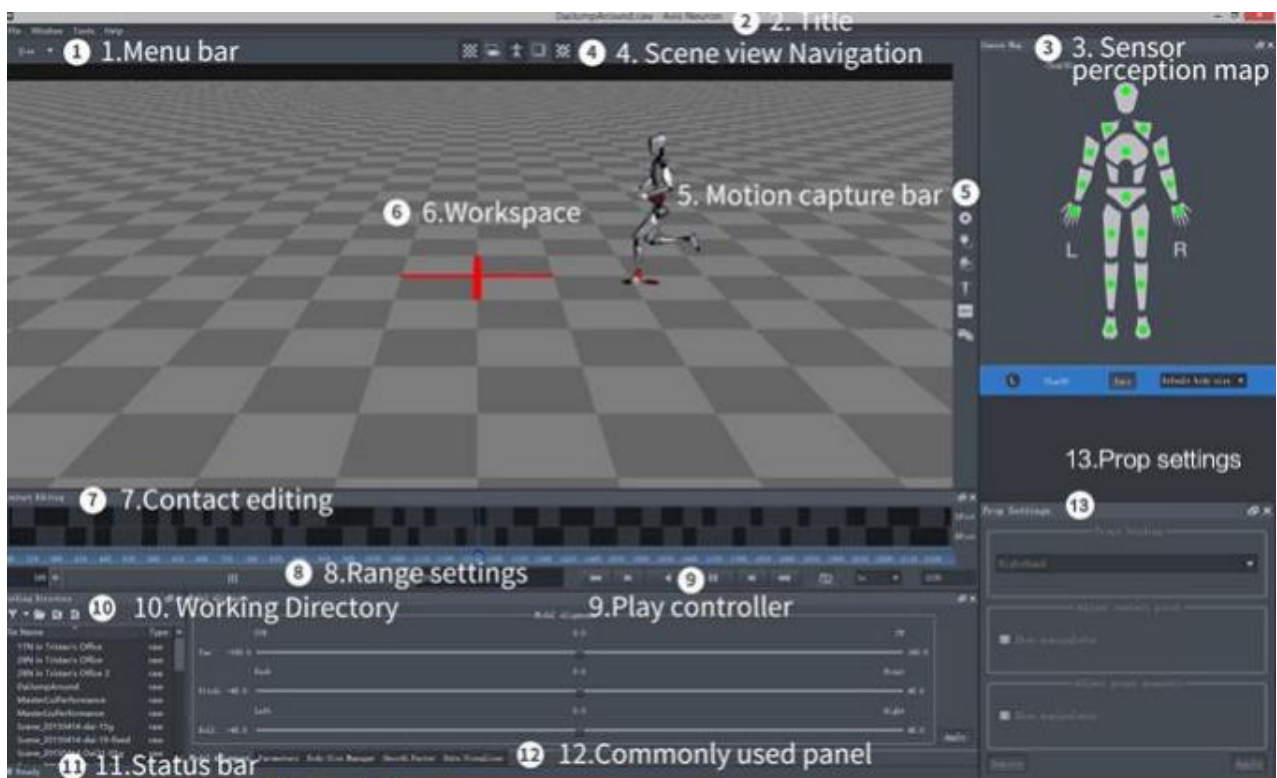
Postoji opcija snimanja nakon dovršetka kalibracije položaja. Pritiskom na gumb „Record“ započinje snimanje. Zatim se odabire gdje se želi spremi podatke i postaviti naziv datoteke u skočnom prozoru.



Slika 46. Snimanje pokreta [37]

#### 4.3.2. Korisničko sučelje

Slika 47. prikazuje korisničko sučelje softvera Axis Neuron.



Slika 47. Korisničko sučelje [37]

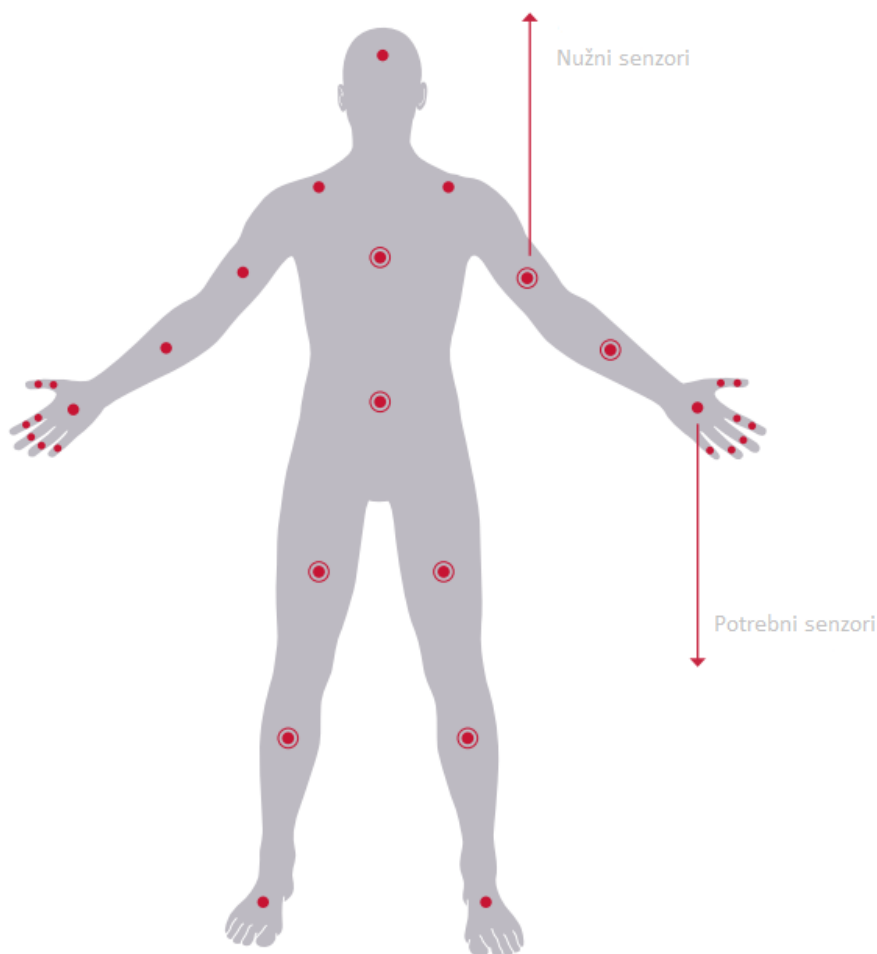
Korisničko sučelje se sastoji od :

- 1) traka izbornika (*Menu Bar*) – pristup datotekama, prozorima, alatima i pomoći
- 2) naslov (*Title*) – naziv trenutno aktivne datoteke
- 3) mapa senzora (*Sensor Perception map*) – prikazuje jačinu signala za prijenos podataka između senzora

- 
- 4) navigacija scenskim prikazom (*Scene View Navigation*) –  
Uključivanje/isključivanje prikaza mreže, težišta, sjene
  - 5) traka za snimanje pokreta (*Motion Capture Bar*) – snimanje, povezivanje, prekid  
veze, kalibracija
  - 6) videokrug (*Workspace*) – podaci o reprodukciji ili pokretu uživo
  - 7) uređivanje kontakata (*Contact Editing*) – alati za čišćenje kontaktnih točaka
  - 8) postavke raspona (*Range settings*) – postavljanje raspona obvira animacije
  - 9) traka za upravljanje snimkama (*Play Controller*) – upravljanje snimkama
  - 10) radni direktorij (*Working Directory*) – prikazuje popis snimljenih datoteka iz  
mape koju je odredio korisnik
  - 11) traka statusa (*Status Bar*) – prikazuje status opreme
  - 12) ovo područje se koristi tijekom procesa snimanja i čišćenja
  - 13) ploča za uređivanje (*Prop Settings*) – ploča s parametrima i drugim  
funkcionalnim postavkama.

#### 4.4. Različite kombinacije korištenja opreme

Perception Neuron omogućuje promjenu načina rada na temelju potrebnih segmenata tijela. Ako točnost nije bitna, korisnici imaju fleksibilnost povezivanja najpotrebnijih dopuštenih senzora. Slika 48. prikazuje primjer kako čitati različite dijagrame načina rada. Prikazani su nužni i dodatni senzori. Nužni senzori prikazani su opisanim crvenim točkama, dok su dodatni senzori prikazani crvenim točkama.

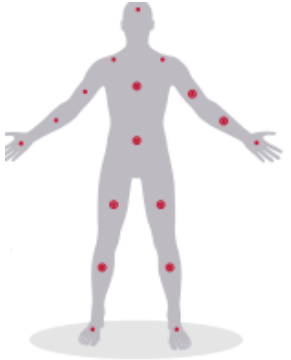
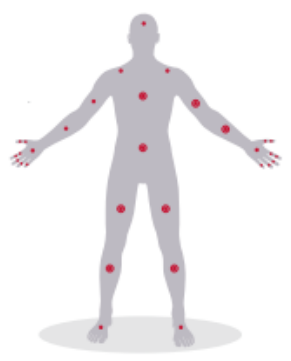
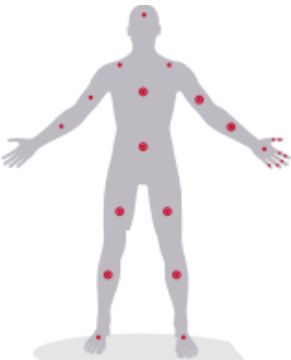
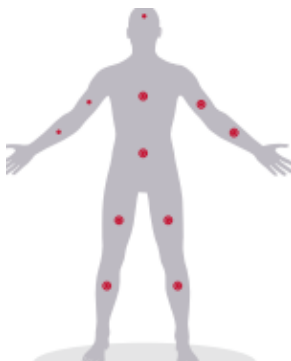


Slika 48. Nužni i dodatni senzori [38]

##### 4.4.1. Način rada: Cijelo tijelo

Potrebno je koristiti senzore na nadlaktici i šaci obje ruku, na kralježnici te na natkoljenici, potkoljenici i stopalu obje nogu. Tablica 5. prikazuje različite mogućnosti spajanja senzora načinom rada s cijelim tijelom.

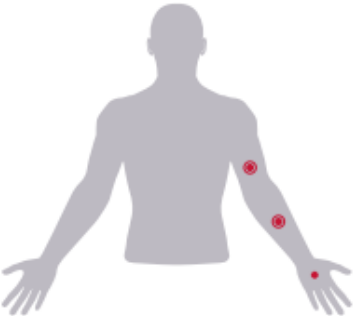
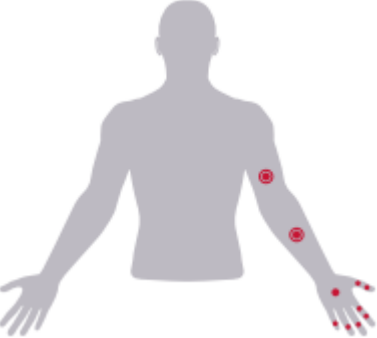
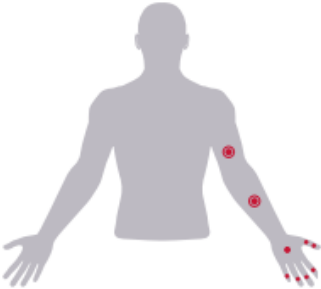
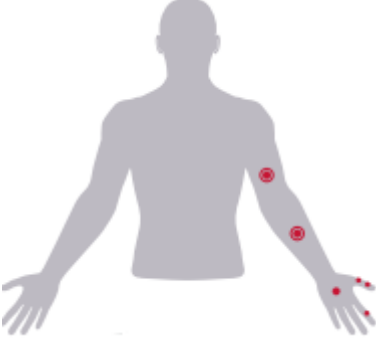
Tablica 5. Spajanje senzora načinom rada s cijelim tijelom [38]

Tip rada	Elementi za korištenje	Slika
Cijelo tijelo	17 neurona Koncentrator USB kabel Rukavice Remeni za tijelo	
Cijelo tijelo (obje ruke i prsti)	31 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavice	
Cijelo tijelo (jedna ruka, svi prsti)	21 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavica	
Cijelo tijelo (bez šake)	11 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo rukavice	

#### 4.4.2. Način rada: Jedna ruka

Za rad s jednom rukom koriste se senzori na gornjem i donjem dijelu ruke, tj. nadlaktica i šaka. Tablica 6. prikazuje različite mogućnosti spajanja senzora s jednom rukom.

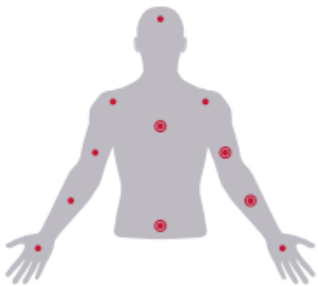
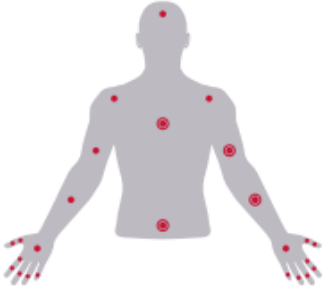
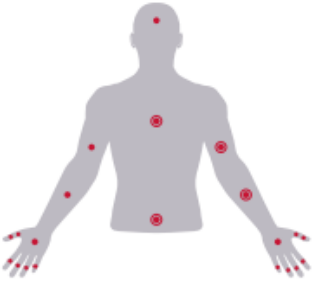
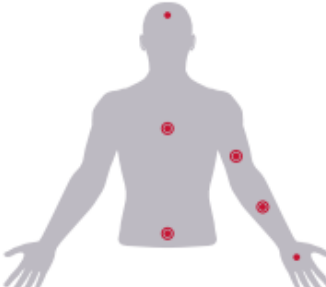
Tablica 6. Spajanje senzora načinom rada s jednom rukom [38]

Tip rada	Elementi za korištenje	Slika
Jedna ruka bez prstiju	3 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavica	
Jedna ruka sa prstima i dva senzora na kažiprstu	10 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavica	
Jedna ruka sa prstima	9 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavica	
Jedna ruka sa palcem i kažiprstom	6 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavica	

#### 4.4.3. Način rada: Gornji dio tijela

Prilikom korištenja samo gornjeg dijela tijela potrebni su senzor na nadlakticama i šakama obiju ruku te na području kuka i kralježnice. Tablica 7. prikazuje različite mogućnosti spajanja senzora načinom rada s gornjim tijelom.

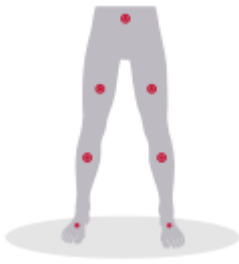
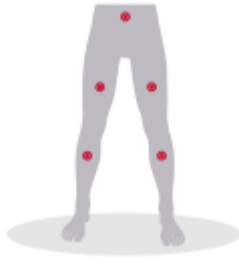
**Tablica 7. Spajanje senzora načinom rada s gornjim dijelom tijela [38]**

Tip rada	Elementi za korištenje	Slika
Gornji dio tijela bez prstiju	11 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo	
Gornji dio tijela sa prstima	25 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavice	
Gornji dio tijela bez ramena	21 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavice	
Gornji dio tijela sa jednom rukom	6 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo Rukavica	

#### 4.4.4. Način rada: Donji dio tijela

Za rad s donjim dijelom tijela potrebni su senzori u području kuka, natkoljenice, potkoljenice i stopalu obiju nogu. Tablica 8. prikazuje različite mogućnosti spajanja senzora načinom rada s donjim dijelom tijelom.

**Tablica 8. Spajanje senzora načinom rada s donjim dijelom tijela [38]**

Tip rada	Elementi za korištenje	Slika
Donji dio tijela sa stopalima	7 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo	
Donji dio tijela bez stopala	5 neurona Koncentrator USB kabel Remeni za tijelo	

#### 4.5. Usporedba uređaja Perception Neuron sa drugim sustavima

Optički sustavi za snimanje pokreta kao što su Vicon i Optitrack obično se koriste kao zlatni standard za analizu biomehaničkih izvedbi. Iako se ovi sustavi intenzivno koriste, pretjerano su skupi, nezgodni i zahtijevaju laboratorijsko okruženje. Kao jedan od najpopularnijih inercijskih komercijalnih sustava za snimanje pokreta, Perception Neuron je isplativ (tj. relativno cjenovno u prednosti u odnosu na OptiTrack) i jednostavan za korištenje (tj. jednostavni postupci postavljanja i naknadne obrade u odnosu na OptiTrack) za primjenu u biomehaničkom području, a provedeno je nekoliko studija o njegovoj točnosti kinematičkih mjerenja. Jedno istraživanje su napravili sedam sudionika sa sportskog sveučilišta u Pekingu o procjeni valjanosti i pouzdanosti u hvatanju gornjeg dijela tijela, a zatim su kvantificirali točnost sustava za različite složenosti zadataka i brzine kretanja. Jednostavne zadatke koje su izvodili je uključivalo osam pokreta gornjeg dijela tijela s jednim stupnjem slobode dok kod složenih zadataka su se podizale kutije od 2,5 kg preko ramena. Oba tipa zadatka se izvodilo sa velikom



i sporom brzinom sa Perception Neuronom i OptiTrackom koji su istovremeno prikupljali kinematičke podatke. Statističke metrike se koriste kao procjena sličnosti između dvaju sustava.

Neke od njih su:

- višestruki koeficijenti korelacije (CMC, engl. *Coefficient of multiple Correlation*) – mjeri ukupnu sličnost valnih oblika uzimajući u obzir istodobne sličnosti između dvaju sustava.
- korijen srednje kvadratne pogreške (RDMS, engl. *root-mean-square-deviation*) – pokazuje koliko daleko predviđanja odstupaju od izmjerenih stvarnih vrijednosti koristeći euklidsku udaljenost.
- Pearsonova korelacija – mjeri snagu linearnog odnosa između dviju varijabli. Ima vrijednost između  $-1$  i  $1$ , pri čemu vrijednost  $-1$  znači ukupnu negativnu linearnu korelaciju,  $0$  da nema korelacije, a  $+1$  znači ukupnu korelaciju.
- koeficijent determinacije ( $R^2$ , engl. *coefficient of determination*) – broj između  $0$  i  $1$  koji mjeri koliko dobro statistički model predviđa ishod, tj. koliko je varijacija zavisne varijable objašnjena nezavisnom varijablom u regresijskom modelu.
- Bland-Altmanov dijagram – prikaz je odnosa između dviju uparenih varijabli korištenjem iste ljestvice. Omogućuje vam da uočite fenomen, ali ga ne testira, to jest, ne daje vjerojatnost pogreške u odluci o varijablama kao što bi bio test.

Kinematika gornjeg dijela tijela istovremeno je prikupljena na  $100$  Hz pomoću Perception Neurona i OptiTracka s 10 brzih kamera. 11 senzora (IMU) i 25 reflektirajućih markera postavljeni su na dijelove tijela sudionika kao što je prikazano na slici 49.



**Slika 49. 11 senzora i 25 markera [39]**

Kalibracija je provedena u skladu s korisničkim uputama proizvođača za Perception Neuron odnosno OptiTrack. Rekonstrukcija traga markera i automatsko označavanje prvotno su izvedeni s Motiveom za podatke markera koje je prikupio OptiTrack. Svako je ispitivanje

zatim vizualno pregledano, a neoznačene putanje su ručno označene i izvezene kao .trc datoteka. Podaci su zatim filtrirani Butterworthovim niskopropusnim filtrom 4. reda (6 Hz) kako bi se uklonio bilo kakav visokofrekventni šum prije nego što su uvezeni u skeletni model sa 42 stupnja slobode gibanja u OpenSim. Model je skaliran prema sudioniku pomoću podataka o statičkim reflektirajućim markerima, a spojni kutovi procijenjeni su na temelju inverzne kinematike koja minimizira udaljenost najmanjeg kvadrata između svakog para eksperimentalnih i modelnih markera. Neobrađeni podaci koje je prikupio Perception Neuron obrađeni su i izvezeni u skeletne kvaternione pomoću Axis Studio-ja. Kvaternioni zglobnih kutova izračunati su na temelju jednadžbe:

$$q_{joint} = (q_r^{b1})^{-1} \otimes q_r^{b2}$$

a zglobni kutovi gornjeg dijela tijela izračunati su prema redu rotacije YXZ. U jednadžbi je  $q_{joint}$  kvaternion ciljnog zgloba,  $q_r^{b1}$  kvaternion uda distalnog segmenta,  $q_r^{b2}$  kvaternion uda proksimalnog segmenta, a  $\otimes$  označava multiplikaciju kvaterniona. Treba napomenuti da su Eulerovi kutovi usvojeni u OpenSimu u XYZ redosljedu rotacije, što nije u skladu s Perception Neuronom. Kao rezultat toga, kinematika gornjeg dijela tijela iz dvaju sustava obrađena je radi dosljednosti prije daljnjeg istraživanja. Nadalje, kutne krivulje iz dvaju sustava potom su sinkronizirane pomoću algoritma za detekciju vrha, a zajedničke vremenske serije kutova svih ispitivanja također su normalizirane na 100 okvira kako bi se omogućile paralelne usporedbe.

Za procjenu valjanosti kinematike gornjeg dijela tijela koju pruža Perception Neuron usporedbom sa sustavom OptiTrack izračunato je nekoliko statističkih metrika: koeficijent višestruke korelacije (CMC), korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE),  $R^2$  i Pearsonova korelacija. CMC, Pearsonova korelacija,  $R^2$  smatrani su izvrsnim ( $> 0,90$ ), dobrim ( $0,75-0,90$ ), umjerenim ( $0,5-0,75$ ) i lošim ( $< 0,50$ ). RMSE od  $5^\circ$  do  $10^\circ$  smatra se dobrim, dok bi RMSE  $< 5^\circ$  bio odličan.

Na slici 50. su prikazani podaci o stupnju procjene sličnosti složenih zadataka.

Variable	Degree of Validity	CMC	Validity				
			RMSE (°)	Pearson's r	R <sup>2</sup>		
Shoulder	flexion/extension	Fast	excellent	0.98	7.5	0.98	0.96
		Slow	excellent	0.98	8.8	0.97	0.96
	adduction/abduction	Fast	good	0.89	5.0	0.88	0.80
		Slow	good	0.89	6.8	0.90	0.81
	internal/external	Fast	good	0.88	9.0	0.87	0.79
		Slow	good	0.88	8.2	0.86	0.79
Elbow	rotation	Fast	good	0.95	12.3	0.97	0.95
		Slow	good	0.92	12.5	0.95	0.94
	pronation/supination	Fast	excellent	0.91	9.3	0.89	0.81
		Slow	excellent	0.92	9.5	0.90	0.81
	flexion/extension	Fast	excellent	0.96	10.0	0.97	0.97
Thorax		Slow	excellent	0.96	10.4	0.97	0.97
	lateral	Fast	excellent	0.91	2.2	0.91	0.84
	flexion	Slow	excellent	0.93	2.1	0.92	0.85
		Fast	excellent	0.93	1.9	0.93	0.87
	rotation	Slow	excellent	0.95	2.1	0.95	0.91

**Slika 50. Stupnjevi sličnosti složenih pokreta [39]**

Sve kinematike gornjeg dijela tijela bile su vrlo konzistentne između dva sustava, s CMC vrijednostima 0,73–0,99, RMSE 1,9–12,5°, Pearsonova korelacija 0,84–0,99, R<sup>2</sup> 0,75–0,99. Test je otkrio da su veće brzine rezultirale većom pristranošću, dok su složeniji zadaci doveli do niže dosljednosti. Rezultati su pokazali da Perception Neuron može pružiti dovoljno preciznu kinematiku gornjeg dijela tijela za daljnju analizu biomehničke izvedbe.

#### 4.6. Primjena uređaja Perception Neuron

Perception Neuron je uređaj za snimanje i analizu pokreta, koji se koristi za mnoge primjene u ljudskoj svakodnevnicu. Koristi se za analizu pokreta pri snimanju filmova, stvaranju videoigara. Također može se koristiti za pronalaženje i sprječavanje ozljeda i općenito inženjerima pomaže u povećanju učinkovitosti proizvodnje. Raznolikost primjene Perception Neurona dijeli se na:

- Snimanje filma – koristio se pri snimanju filma „*Twenty One Points*“. Riječ je odnosu odraslog muškarca i imaginarnog animiranog prijatelja po imenu Gary. Perception Neuron se koristio da se oživi animirani lik na ekranu [40].
- Građevinski radovi – zbog sigurnosnih i zdravstvenih razloga u građevinskoj industriji, snimanjem pokreta se nastoji ustanoviti neprimjereno i netočno rukovanje radnim alatima i pomagalicama, neprimjereno kretanje po gradilištu.
- Videoigre – jedno od najbrže rastućih industrija namijenjena za raznoliku publiku.

- Humanoidni roboti – pokreti se snimaju u svrhu shvaćanja biomehanike na primjeru hvatanja nekoliko različitih predmeta. Sveučilišta diljem svijeta koriste tehnologiju snimanja pokreta u svrhu prenošenja ponašanja ljudi na humanoidne robote [41].
- Virtualni svjetovi – QT UR EA je digitalno umjetničko okruženje koje uključuje instalacije, performanse, snimanje pokreta i virtualne svjetove u stvarnom vremenu. Kako bi stvorili vizualne efekte izložbe temeljene na pokretu, umjetnici su radili sa sustavom za snimanje pokreta Perception Neuron [42].

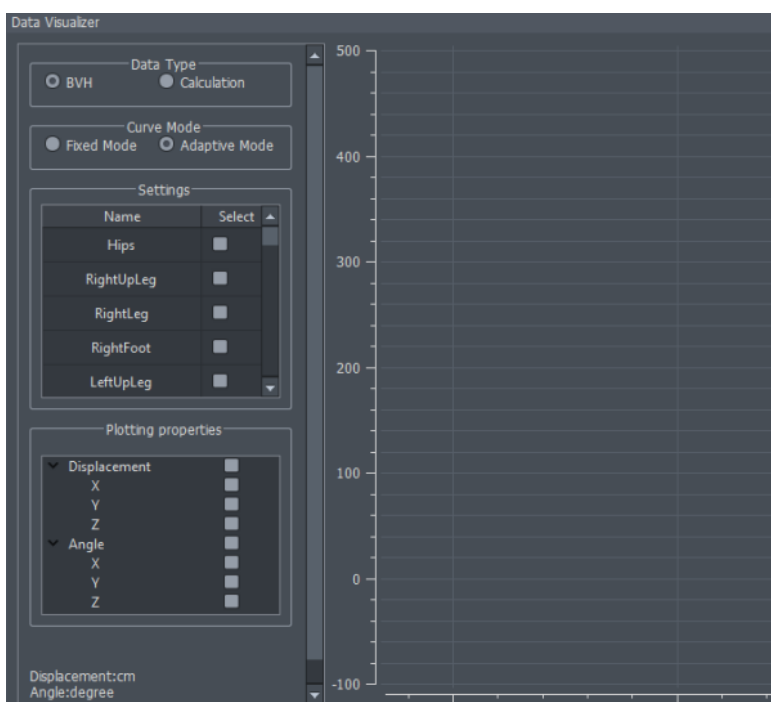
## 5. MOGUĆNOST PROVEDBE ISPITIVANJA

Budući da su točnost, preciznost i način korištenja uređaja Perception Neuron pokazani, mogućnosti ispitivanja će ovisiti o količini informacija koje se mogu prikupiti s ovim uređajem. Namještanjem opreme na tijelo spajanjem sa računalom i pokretanjem softvera Axis Neuron može se započeti sa ispitivanjem.

Softver preuzet sa službene stranice od Perception Neuron Motion Capture nudi praćenje, modeliranje i mnogo informacija u realnom vremenu. Samo sučelje je već objašnjeno te se u programu može odabrati:

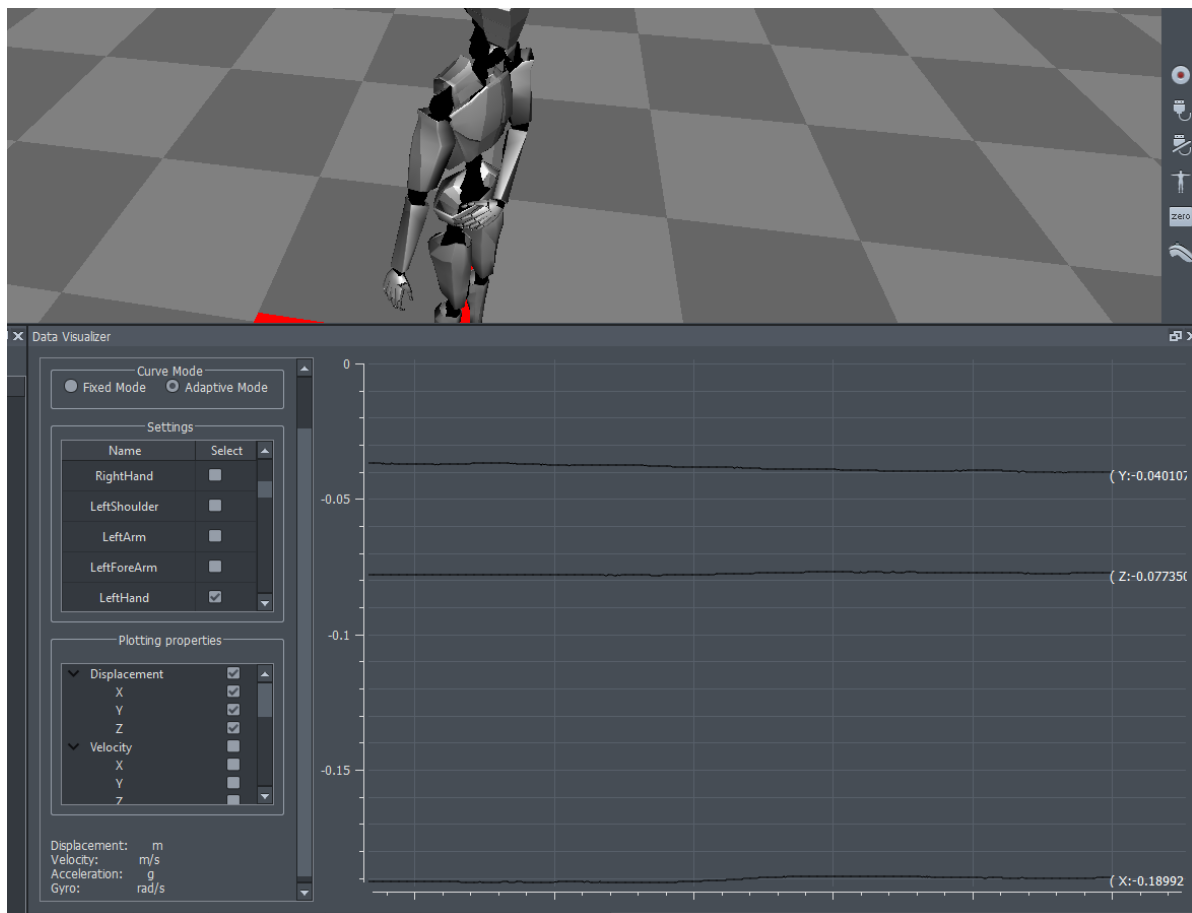
- tip podatka u kojem će se prikazivat snimani pokreti (BVH ili Calculation)
- način prikaza krivulje kojom će se rezultati prikazivati u dijagramu, za točno označeni dio tijela koji se analizira
- svojstva kretnji – translacija, rotacija, akceleracija koja će se bilježiti.

Tijekom provedbe ispitivanja koristio se način rada s jednom rukom. Podaci će se prikazivati u dijagramima u programu Axis Neuron, a opis će sadržavati slike na kojima će biti vidljiva promjene podataka uzrokovane promjenom kretnji promatranog dijela tijela, te tekst kojim se opisuje što se događa tijekom eksperimenta. Svaki pokus je trajao nekoliko sekundi da bi se bolje prikazala promjena podataka na dijagramu. Na slici 51. su prikazani podaci o pokretima u programu Axis Neuron.



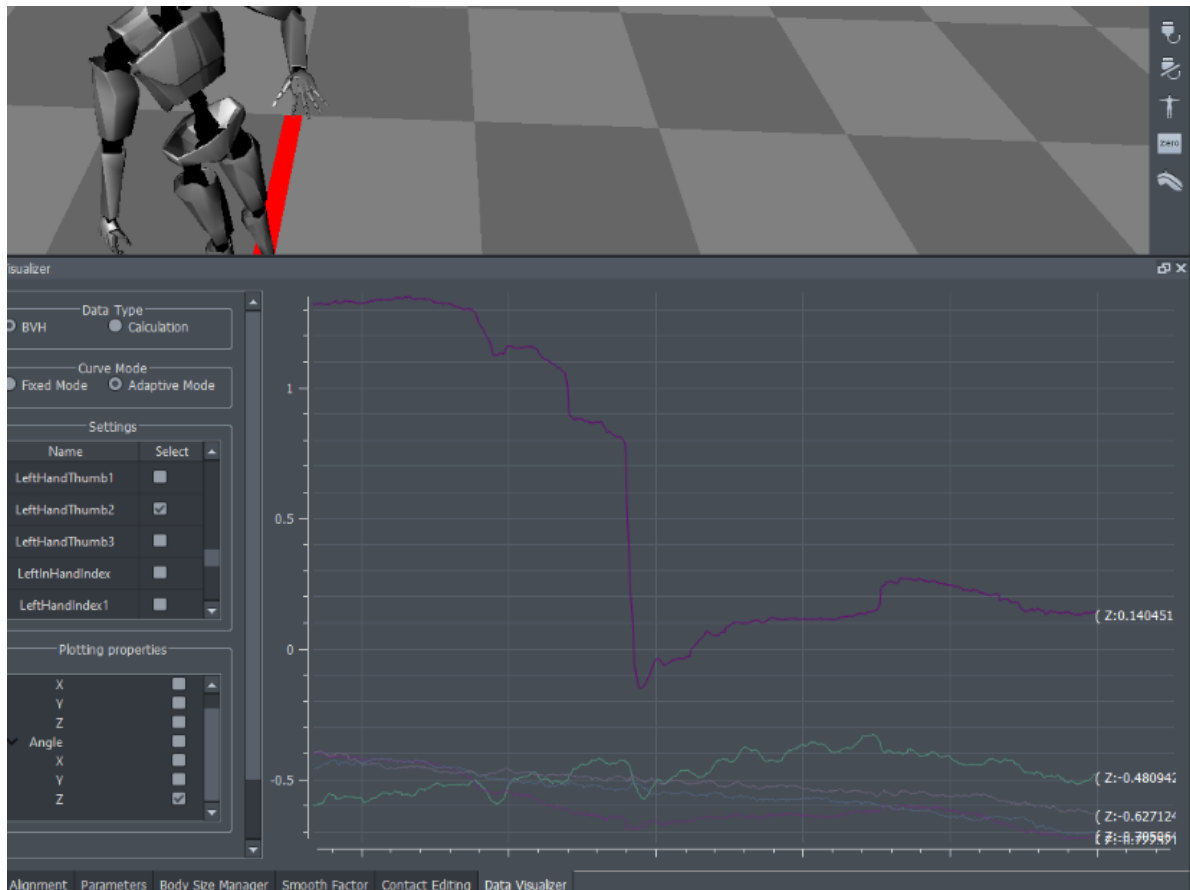
Slika 51. Prikaz podataka o pokretima u programu Axis Neuron

Uređaj Perception Neuron mjeri poziciju, koja je izražena u metrima, na način da je ishodište koordinatnog sustava zdjelica virtualnog čovjeka u programu Axis Neuron. Slika 52. prikazuje približno nuli sve tri vrijednosti usporedno s koordinatnim osima X, Y, Z. Zbog nemogućnost da čovjekova ruka dođe skroz do zdjelice neostvarivo je postići čiste nule. Može se zaključiti da iz pravca zdjelice os X ide paralelno unatrag, os Y okomito u lijevo te os Z prema dolje.



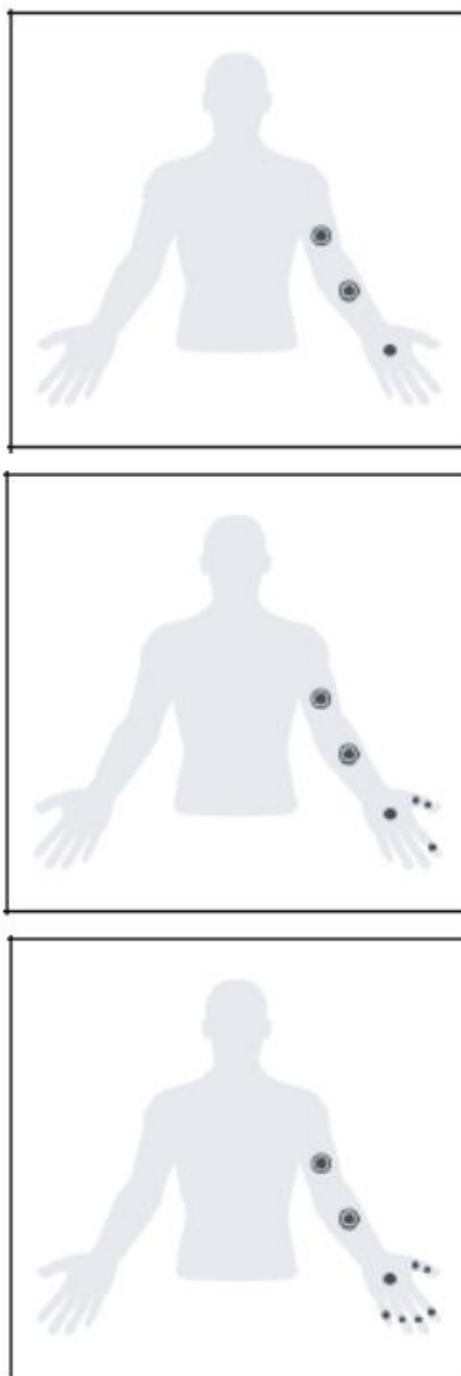
**Slika 52. Prikaz vrijednosti pozicije približno nuli**

U slučaju mjerenja kutova, koji se mjere u stupnjevima prstiju uzima se referentna točka kao položaj pravilno postavljene ruke sa ispravljenim prstima. Pri opisanoj poziciji kutovi teže nuli. Na slici 53. se vide kako kutovi svih prstiju kako teže nuli te na virtualnom čovjeku kako ruka stoji.



**Slika 53. Prikaz vrijednosti kutova koji teže nuli**

Način rada će bit jedna ruka, točnije lijeva ruka jer desna ruka služi za kontrolu programa, što je način rada s jednom rukom. Kako postoji mogućnost izvođenja s različitim brojem povezanih senzora tako postoji i mogućnost prikazivanja više različitih podataka ovisno o potrebi. Slika 54. prikazuje različiti broj povezanih senzora i njihovu lokaciju na jednoj ruci.



Slika 54. Različito postavljene senzori na jednoj ruci

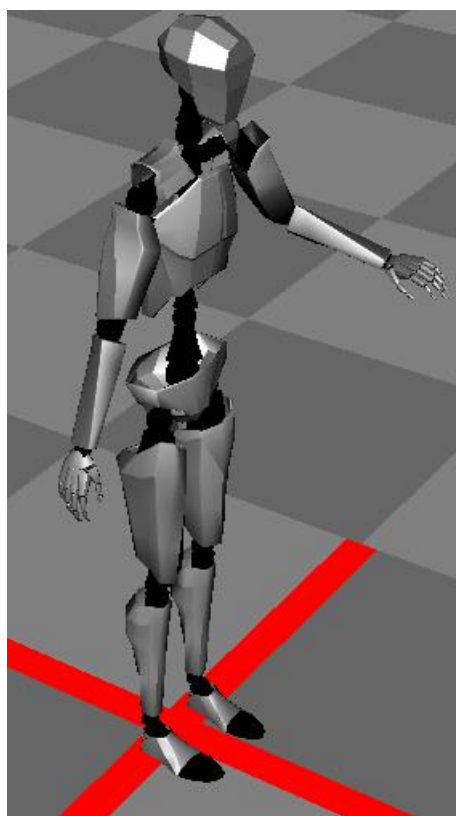
### 5.1. Korištenje triju senzora: klizanje dlana po stolu i dizanje dlana uvis

Korištenjem triju senzora na jednoj ruci prati se kretanje ruke u području nadlaktice i podlaktice dok pomicanje prstiju nije moguće pratiti. Izvedeni su sljedeći pokusi nekoliko puta:

- klizanje dlana naprijed-natrag po ravnoj površini (stolu)
- klizanje dlana desno-lijevo po ravnoj površini (stol)
- dizanje-spuštanje dlana vertikalno (sa stola).

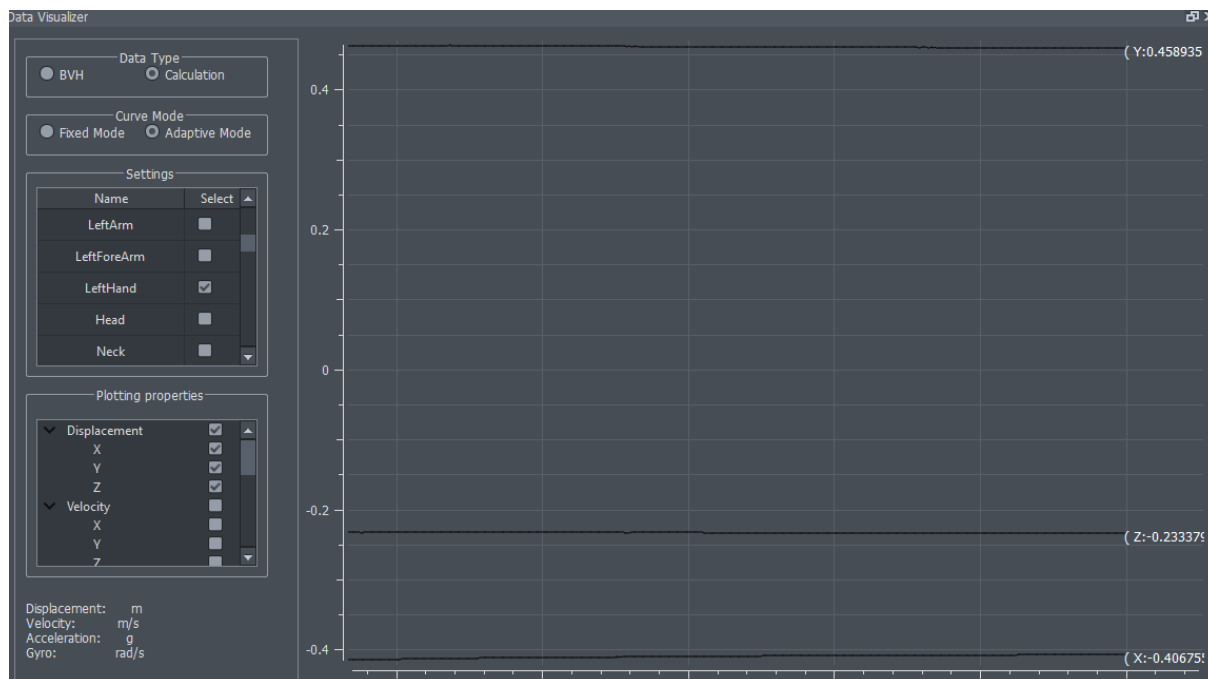


S obzirom da će se promatrati translacija uzduž koordinatnih osi X, Y, Z te iste osi će se prikazivati dijagramski u programu Axis Neuron. Sam pokus se radio u sjedećem položaju s jednom rukom, ali u programu se ostatak tijela vidi u stojećem položaju i pozicija mu ostaje nepromijenjena tijekom čitavog pokusa. Tijekom izvođenja kretnji jedino se lijeva ruka pomiče te je stoga jedino mjerodavno proučavati podatke vezane uz kretanje dijelova lijeve ruke. Početni položaj ruke prije izvođenja sva tri pokusa je prikazan na slici 55.

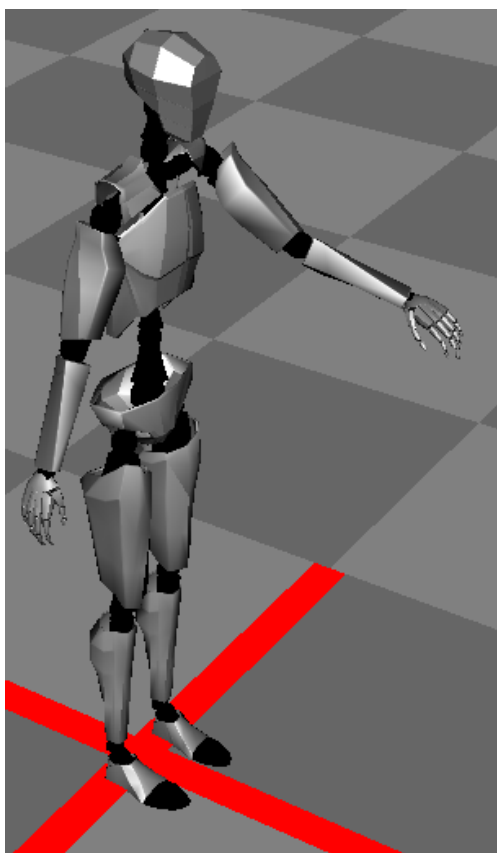


**Slika 55. Početni položaj ruke u pokusu s tri senzora**

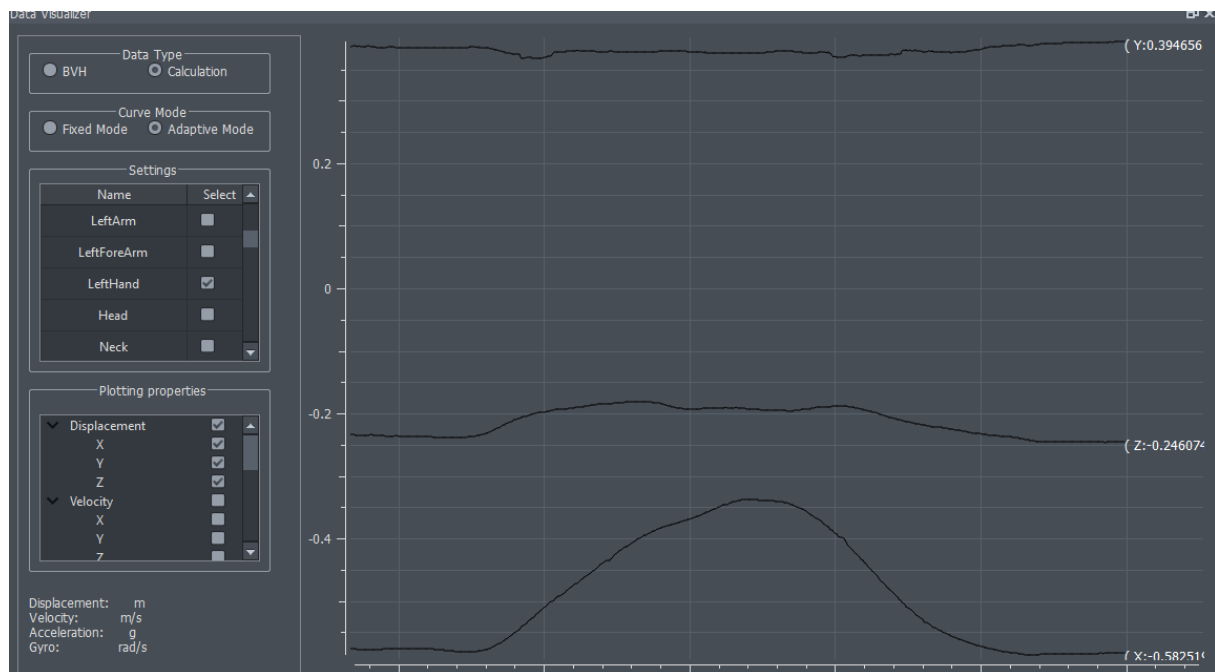
Slika 56. prikazuje podatke o položaju dlana na samom početku pokusa u kojem se ispituje mogućnost kretanja jedne ruke u jedna od tri smjera. Horizontalna os dijagrama predstavlja vrijeme u sekundama, dok vertikalna os predstavlja poziciju u prostoru, izraženu u metrima, za svaku od triju osi. Iz te pozicije se ispituje mogućnost kretanja naprijed-natrag, lijevo-desno i gore-dolje.



Slika 56. Prikaz početnih podataka pomaka dlana u pokusu s tri senzora

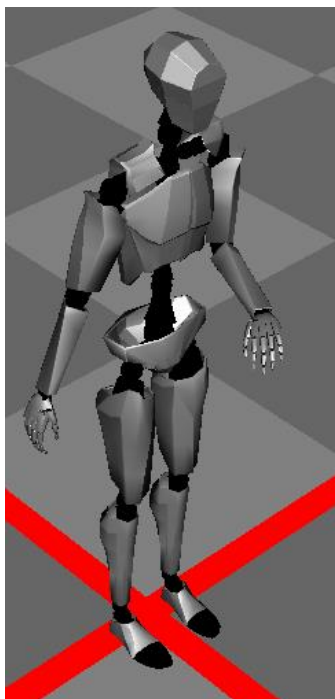


Slika 57. Krajnji položaj ruke nakon pomicanja naprijed-natrag

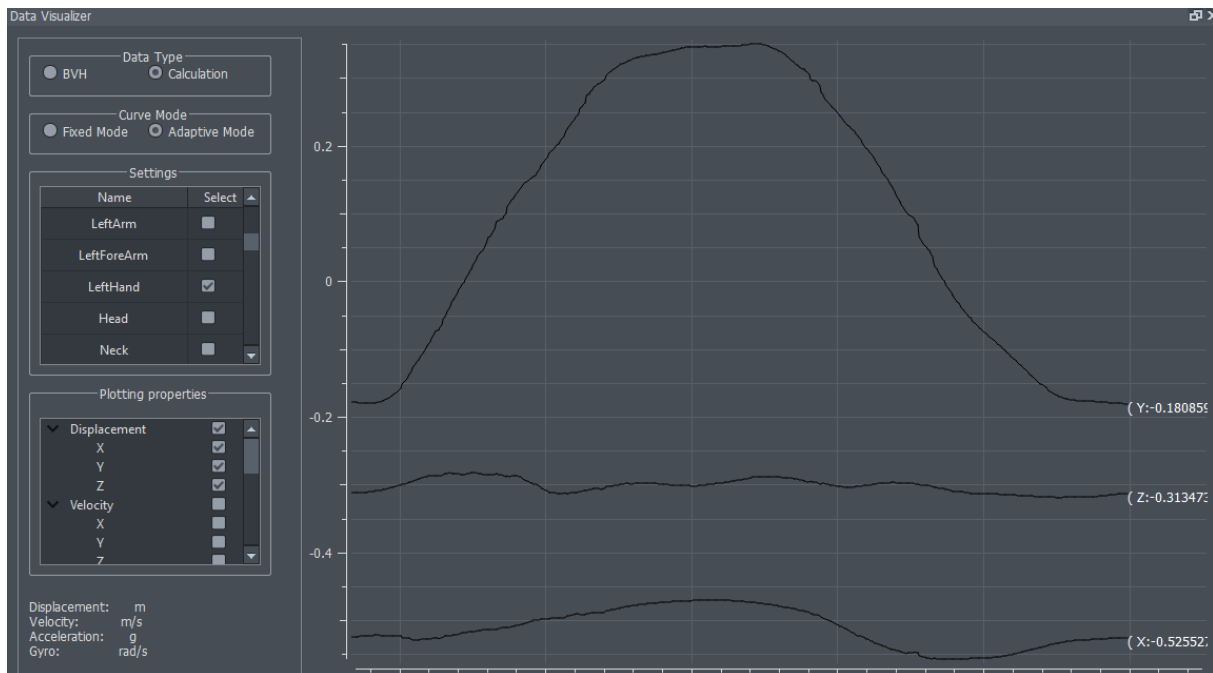


**Slika 58. Prikaz krajnjih podataka pomaka dlana u pokusu naprijed-natrag**

Na osnovu prikazanih dijagrama može se zaključiti da do promjene podataka pomicanjem dlana *naprijed-natrag* dolazi duž osi kojom se odvija pokret. Gledajući u sliku 58. te je usporedivši sa slikom 56. vidi se da je najveća promjena uzduž osi X. Nemoguće je za ostale dvije osi, Y i Z, ostati nepomaknute što zbog nemogućnosti čovjeka da rukom savršeno pomiče usporedno s jednom od osi u prostoru i što zbog trenja uslijed kontakta između dlana i stola.

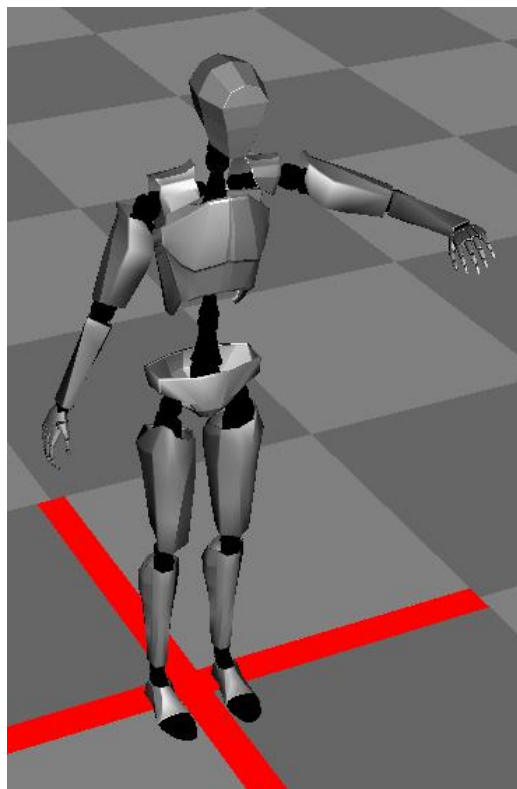


**Slika 59. Krajnji položaj ruke u pokusu lijevo-desno**

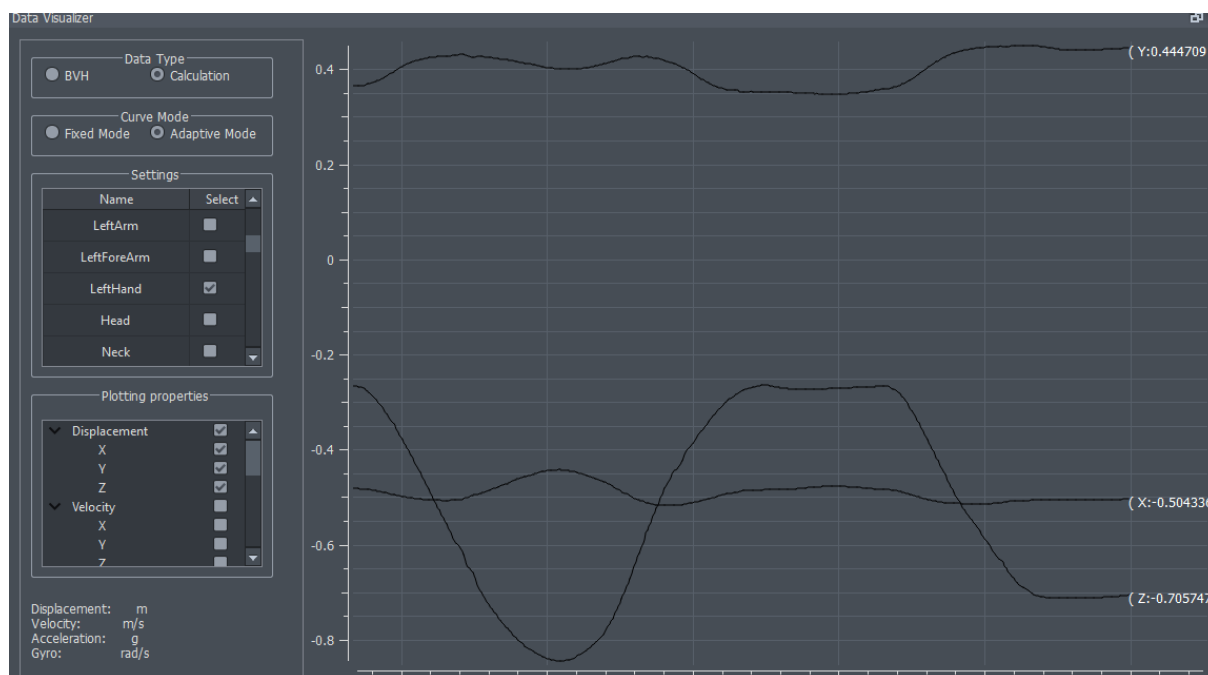


**Slika 60. Prikaz krajnjih podataka pomaka dlana u pokusu lijevo-desno**

Do jednakog zaključka dolazi se i kod pokusa pomicanja dlana desno-lijevo po površini stola koji se vide na slici 60. Najveći pomak se vidi uzduž osi Y, no također se uočavaju i mali pomaci po osima X i Z zbog istih razloga koji su navedeni kao i u prethodnom primjeru.



**Slika 61. Krajnji položaj ruke pri pokusu gore-dolje**



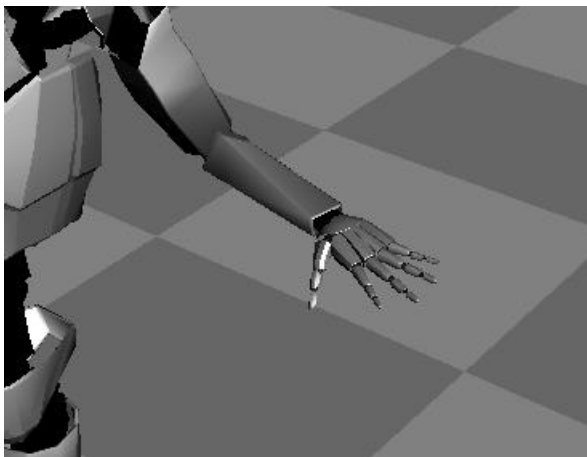
**Slika 62. Prikaz krajnjih podataka pomaka dlana u pokusu gore-dolje**

Analogno, u pokusu podizanja dlana uvis, najveći pomaci pojavljuju se duž osi Z, dok su uzduž osi X i Y zamijećeni manji pomaci (Slika 62.).

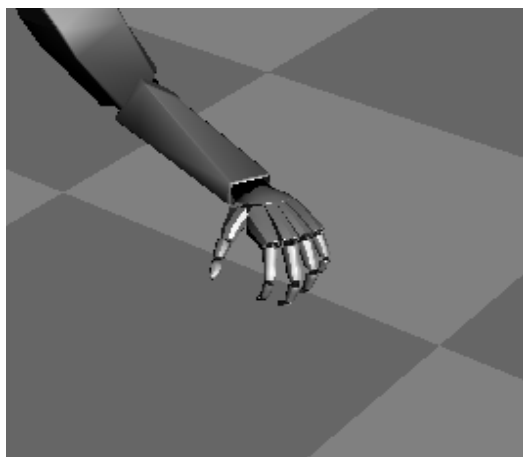
## 5.2. Korištenje šest senzora: savijanje kažiprsta lijeve ruke

Načinom rada s jednom rukom sa šest povezana senzora, moguće je pratiti kretanje ruke u području nadlaktice i podlaktice, također je moguće pratiti kretanje palca i kažiprsta.

U ovom pokusu će se pratiti savijanje kažiprsta lijeve ruke, jer je na njemu senzor postavljen za razliku od srednjeg prsta, prstenjaka i malog prsta. Ideja ovog pokusa je pokazati mogućnost savijanja srednjeg prsta, prstenjaka i malog prsta isključivo savijanjem kažiprsta. Stoga će se posebna pažnja posvetiti upravo na savijanje kažiprsta lijeve ruke. Prikazat će se promjena kuta savijanja kažiprsta te će se prikazani podaci usporediti s podacima kuta savijanja ostalih povezanih prstiju. Slika 63. prikazuje položaj prstiju na početku pokusa. Ispitivanje se izvodilo u sjedećem položaju ali ostatak tijela je u stojećem položaju kao u prethodnom primjeru.



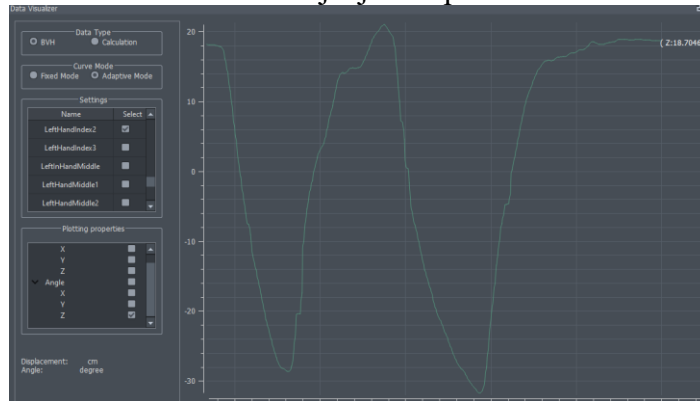
**Slika 63. Početni položaj prstiju tijekom savijanja kažiprsta sa šest senzora**



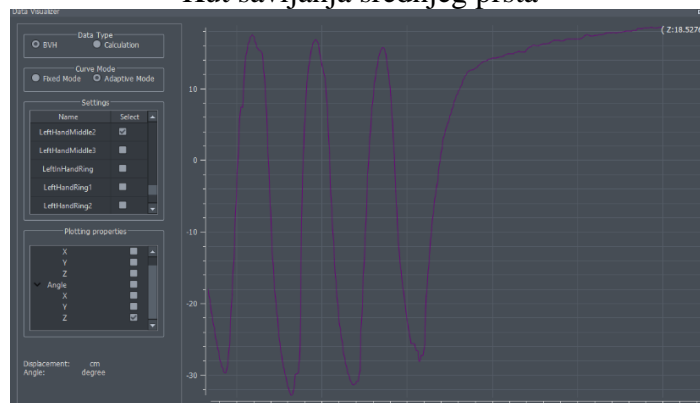
**Slika 64. Krajnji položaj prstiju tijekom savijanja kažiprsta sa šest senzora**

Slika 65. prikazuje usporedbu kuta savijanja između kažiprsta, srednjeg prsta, prstenjaka i malog prsta. Dijagram pokazuje kut savijanja pojedinog prsta po osi Z. Kut savijanja po ostale dvije osi nisu prikazane u dijagramu pošto se kut savijanja prati isključivo po osi Z, promjene kuta savijanja po osima X i Y prikazane su kao konstantne vrijednosti u programu te nam u ovom pokusu nisu važne za usporedbu.

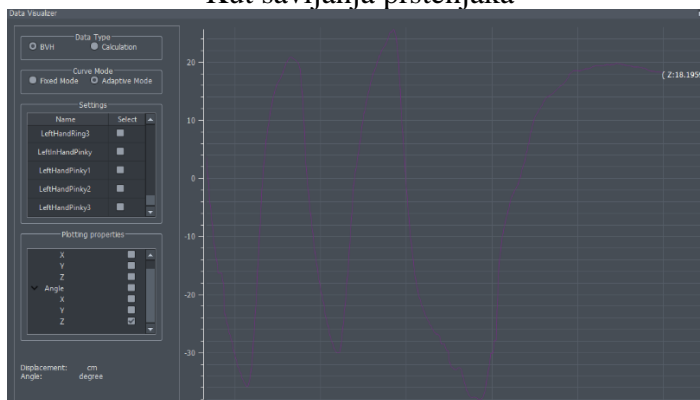
## Kut savijanja kažiprsta



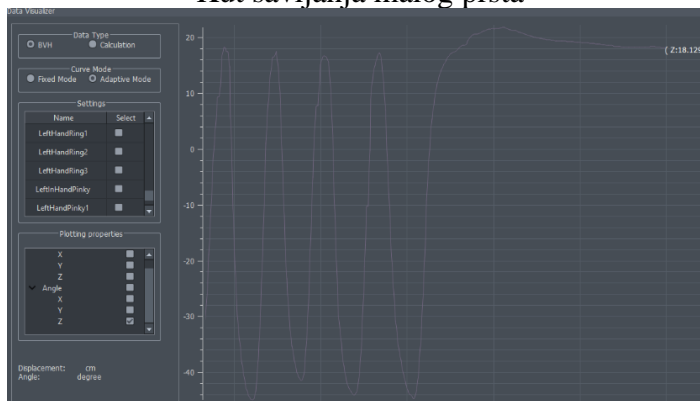
## Kut savijanja srednjeg prsta



## Kut savijanja prstenjaka



## Kut savijanja malog prsta



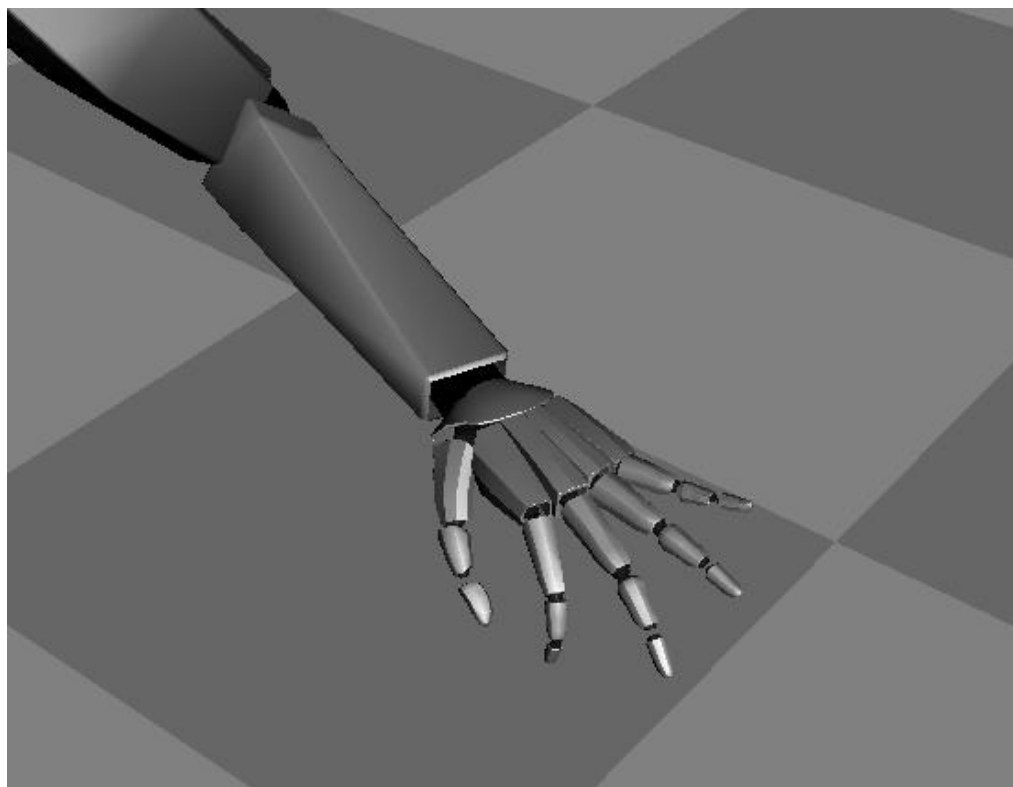
Slika 65. Usporedba kuta savijanja prstiju sa šest senzora

Isprobalo se savijanje srednjeg prsta, prstenjaka i malog prsta pojedinačno svaki ili zajedno. Ne mičući kažiprst, dokazalo se da se ne događa nikakva promjena ni na virtualnom tijelu niti u dijagramu kutu savijanja zbog nedostatka senzora na tim prstima.

U ovom načinu rada se htjelo pokazati kako se savijanjem kažiprsta, istovremeno i na isti način, savijaju i srednji prst, prstenjak i mali prst. Ispitivanje je pokazalo da se kutovi savijanja srednjaka, prstenjaka i malog prsta u potpunosti poklapaju s kutom savijanja kažiprsta, što pokazuje da ugrađeni algoritmi u potpunosti omogućuju sinkronost između kažiprsta i navedenih prstiju.

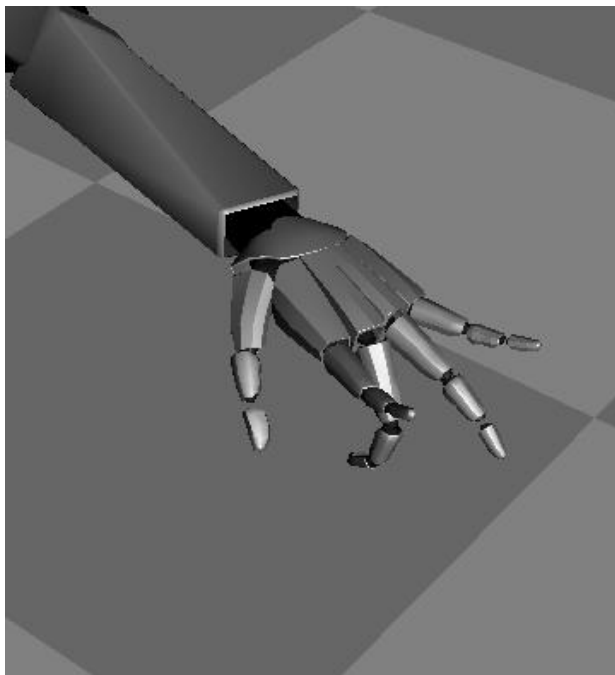
### 5.3. Korištenje devet senzora: savijanje kažiprsta lijeve ruke

Dodatkom tri dodatna senzora na srednji prst, prstenjak i mali prst, moguće je pratiti pokrete ruku kao i prije te još zasebno na svim prstima. Radit će se isti pokus u mogućnost praćenja srednjeg prsta, prstenjaka i malog prsta neovisno o ostalim prstima. Kao i u prošlom pokusu promatrat će se kut savijanja kažiprsta te odnos s ostalim prstima na ruci. Izvedeno je više pokusa savijanja svih prstiju, ali samo će se prikazati dijagrami promjene kutova kažiprsta. Početna pozicija prstiju je ista kao i u prethodnom pokusu te se može vidjeti na slici 63. Slika 66. prikazuje krajnji položaj kažiprsta, dok Slika 67. krajnji položaj srednjeg prsta.



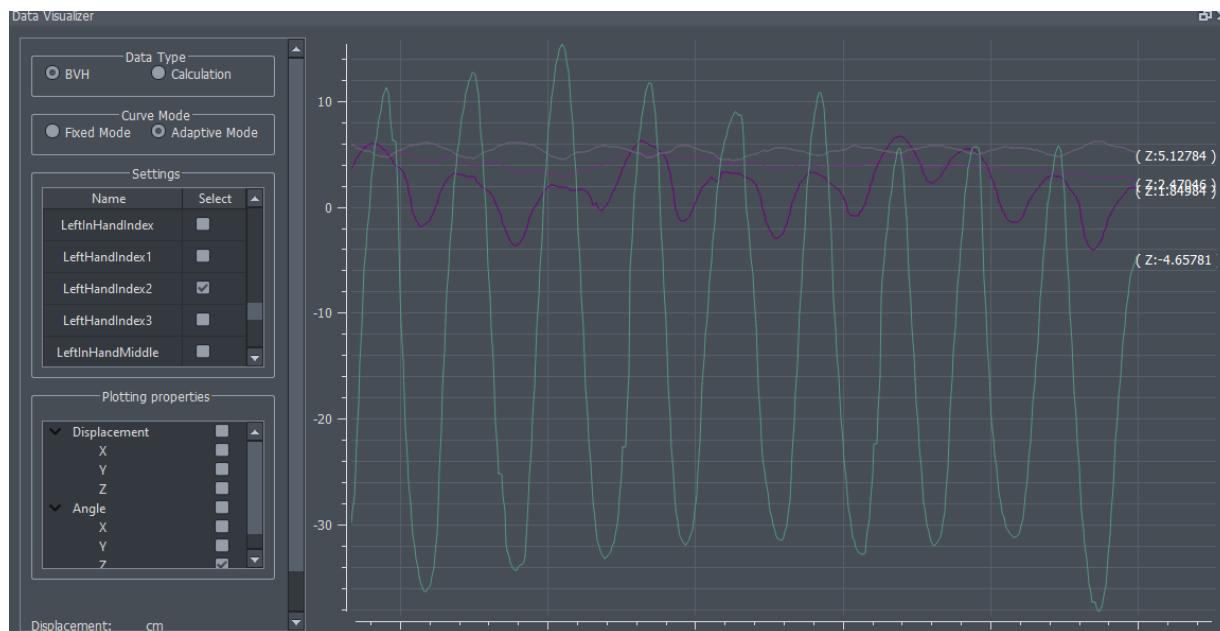
**Slika 66. Krajnji položaj prstiju tijekom savijanja kažiprsta sa devet senzora**





**Slika 67. Krajnji položaj prstiju tijekom savijanja srednjeg prsta sa devet senzora**

Slika 68. prikazuje usporedbu kuta savijanja kažiprsta, srednjeg prsta, prstenjaka i malog prsta. Na vertikalnoj osi prikazan je kut savijanja u stupnjevima. Horizontalna os predstavlja vrijeme u sekundama.



Zelena boja – kažiprst  
Tamno ljubičasta - srednji prst

Svijetlo ljubičasta - prstenjak  
Svijetlo smeđa - mali prst

**Slika 68. Usporedba kuta savijanja svih prstiju sa devet senzora**

## 6. POKUSI UREĐAJEM PERCEPTION NEURON 2.0

Prilikom izvođenja sljedećih pokusa cilj je bio dobiti informacije o poziciji i kutovima prilikom izvođenja unaprijed definiranih radnji. Dobivajući te informacije, pobliže će se analizirati pokreti samog pokusa s uređajem Perception Neuron.

### 6.1. Pomicanje objekta iz jednog mjesta u drugo

Provest će se ispitivanje praćenja i analiziranja jednostavnog pokreta. Cilj pokreta je vidjeti koliko se mijenjaju karakteristične točke o poziciji i kutovima šake i prstiju tijekom pokreta. Pokret koji će se izvesti se sastoji od hvatanja rukom predmet i premještanja na drugu lokaciju. Predmet koji će se pomicati je svijeća koja je prikazana na slici 69.



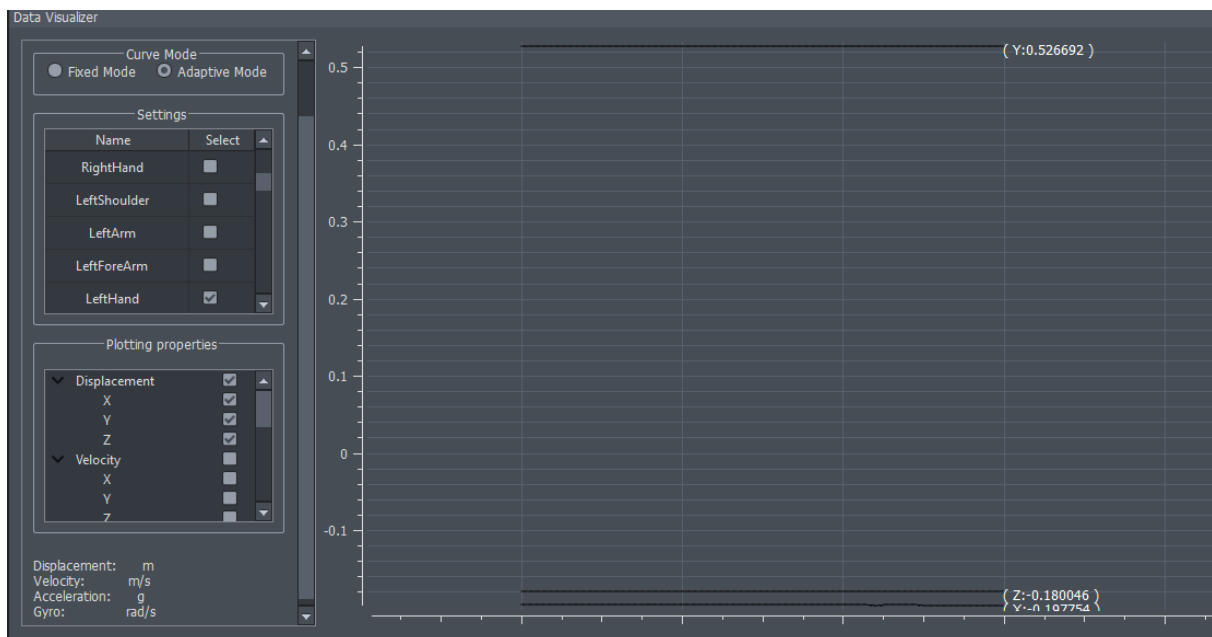
**Slika 69. Predmet ispitivanja – svijeća**

S obzirom da se radi o jednostavnom pokretu, koji uključuje hvatanje predmeta vrhovima prstiju, pratit će se upravo te točke za mjerenje kuta uzimanja, držanja i postavljanja objekta. Koristit će se način rada s jednom rukom i devet senzora. Isto tako će se pratiti i karakteristična točka o poziciji, koja govori o udaljenosti premještanja svijeće. Proces je napravljen više puta te je trajao 10 sekundi. Na slici 70. je prikazano uzimanje svijeće.



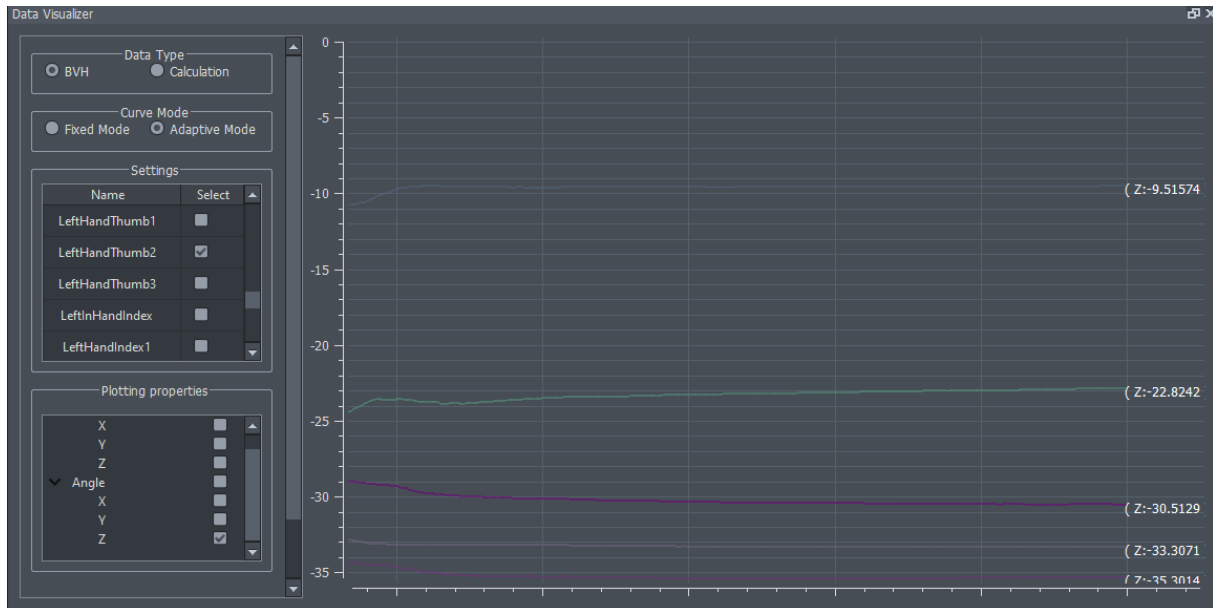
**Slika 70. Uzimanje svijeće**

Na slici 71. se vide podaci o poziciji šake prilikom uzimanja, dok slika 72. prikazuje karakteristične točke triju osi šake prilikom uzimanja objekta.



**Slika 71. Karakteristične točke triju osi šake prilikom uzimanja objekta**

Na dijagramu je vidljivo da je pozicija svijeće najdalje od čovjeka u pravcu osi Y, što ima smisla jer je svijeća na skoro na rubu stola. Na slici 72. je prikazan dijagram te redom odozgo prema dolje su prikazani kutovi za palac, kažiprst, srednji prst, mali prst i prstenjak. Gledajući dijagram vidi se da je najmanje savijen palac, a najviše prstenjak.

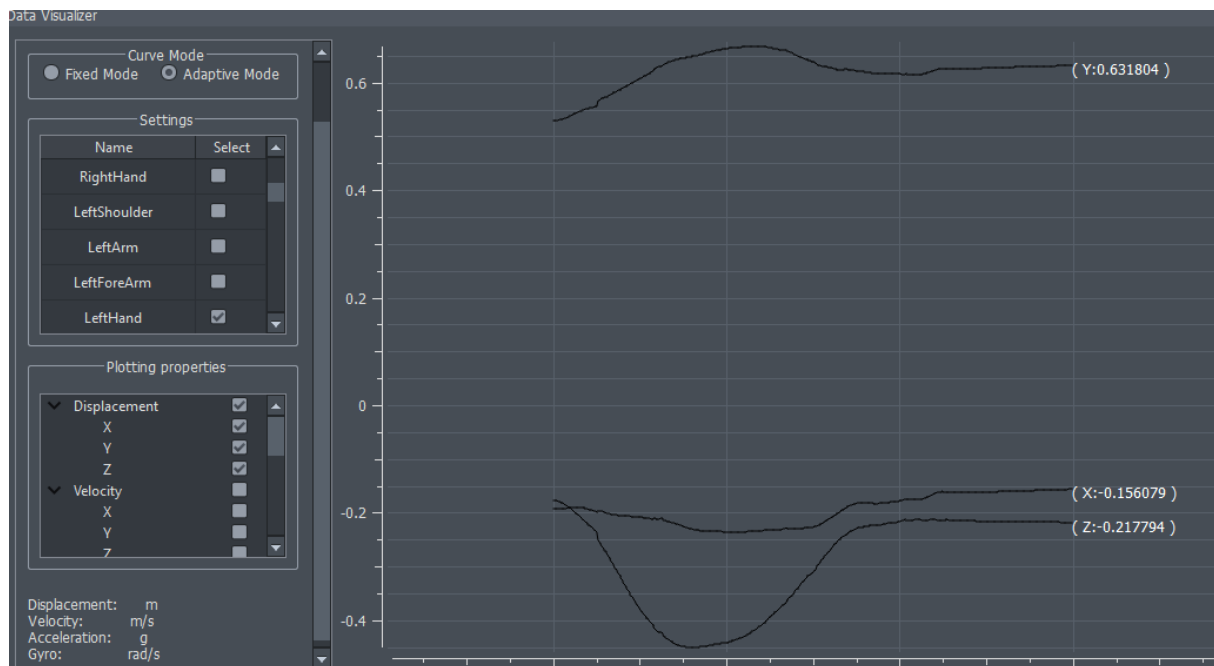


**Slika 72. Karakteristične točke kutova vrhova prstiju prilikom uzimanja objekta**  
Na slici 73. je prikazana lokacija izuzimanja svijeće.



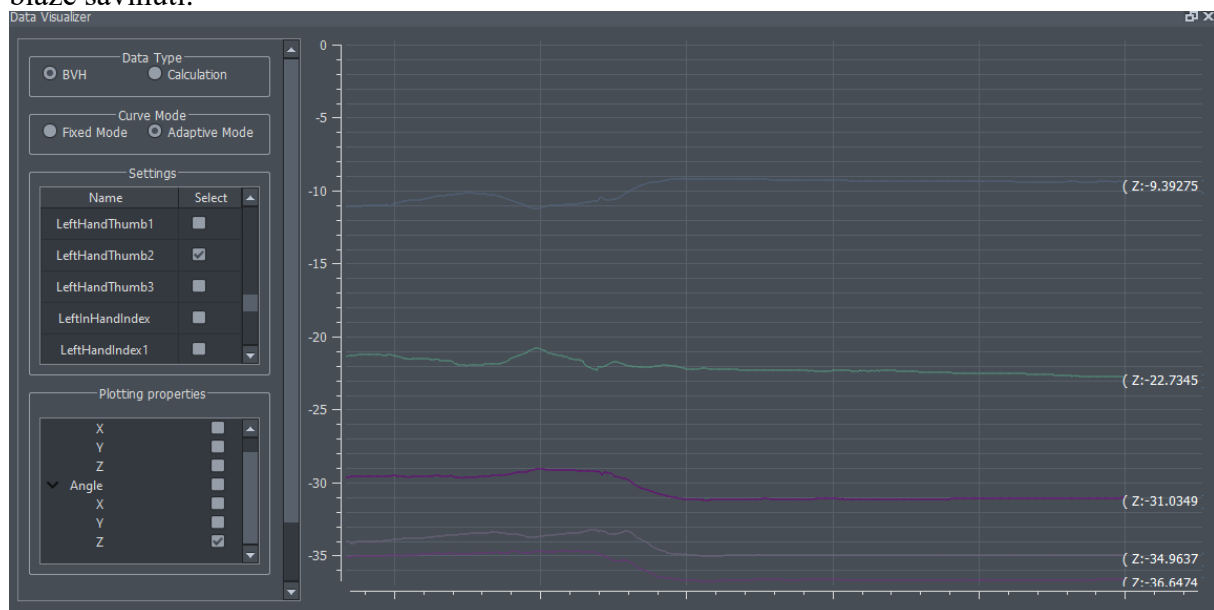
**Slika 73. Izuzimanje svijeće**

Na slici 74. su prikazane udaljenosti nakon izuzimanja objekta. Najmanja promjena se vidi u osi Z iz razloga što je stol ravan, ali se vidi valni dio u dijagramu jer se svijeća dignula i spustila. Ostale dvije osi su imale veći pomak.



**Slika 74. Karakteristične točke triju osi šake prilikom izuzimanja objekta**

Na slici 75. su prikazani kutovi nakon izuzimanja objekta. Zaključuje se da su sad malo blaže savinuti.



**Slika 75. Karakteristične točke kutova vrhova prstiju prilikom izuzimanja objekta**

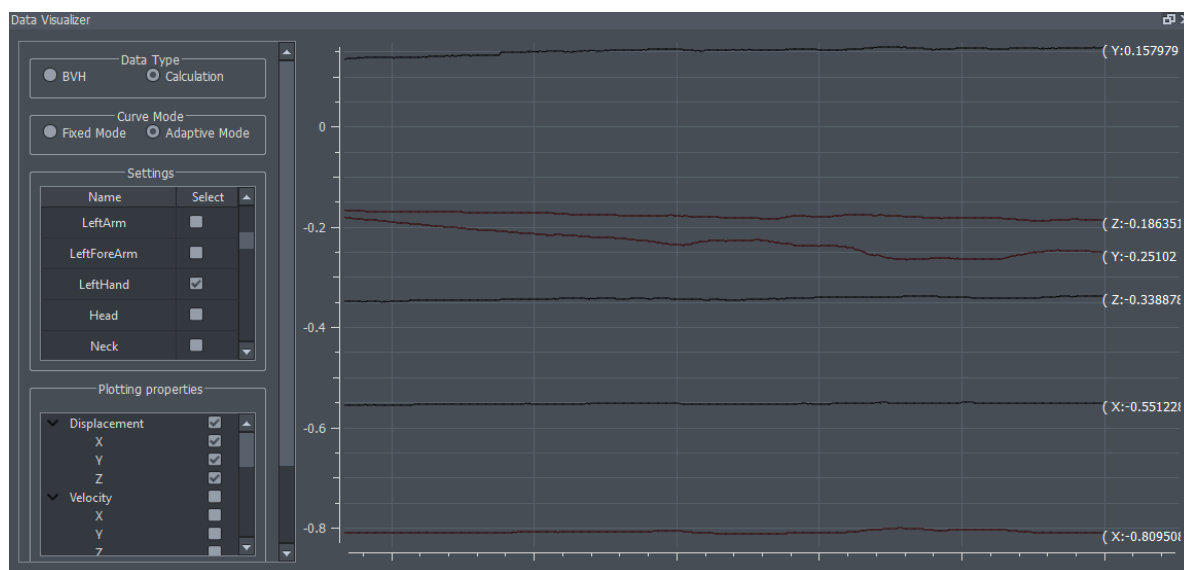
Detaljnijom analizom može se uočiti blago vrludanje podataka koje je zapravo posljedica trenja, nemogućnosti savršene motorike i stavljanja senzora na idealno mjesto na ruci, odnosno prstu.

## 6.2. Dodavanje objekta iz jedne u drugu ruku

U ovom pokusu provest će se dodavanje iste svijeće iz prvog pokusa iz jedne ruke u drugu ruku. Prilikom dodavanja iz jedne u drugu ruku svijeća će se držati vertikalno. Pokus se odvija načinom rada s gornjim tijelom s 21 senzora jer je potrebno pratiti pokrete obje šake i deset prstiju.

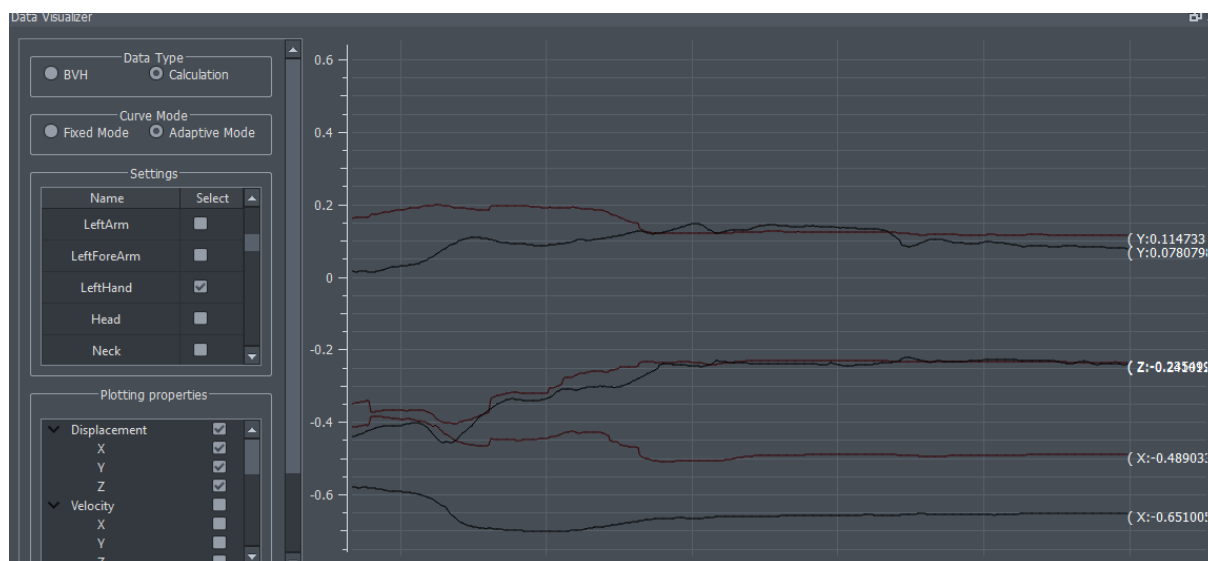
U početnoj fazi pokusa, svijeća se drži u desnoj ruci te se lijeva i desna ruka međusobno približavaju jedna drugoj. Nakon preuzimanja iz desne u lijevu ruku, ruke se udaljavaju jedna od druge te slijedi isti proces dodavanje iz lijeve u desnu ruku. Proces se ponavlja više puta.

Na slici 76. su prikazane početne koordinatne pozicije desne i lijeve šake. Radi lakšeg grafičkog prikaza, desna šaka je označena crvenom bojom dok je lijeva šaka označena crnom bojom. Gledajući grafički prikaz, može se ustanoviti kako su koordinatne osi lijeve i desne šake poprilično udaljene. U međusobnom dodavanju osovine, lijeva i desna šaka otprilike rade isti put.



**Slika 76. Karakteristične točke triju osi dviju šaka prilikom početka dodavanja svijeće**

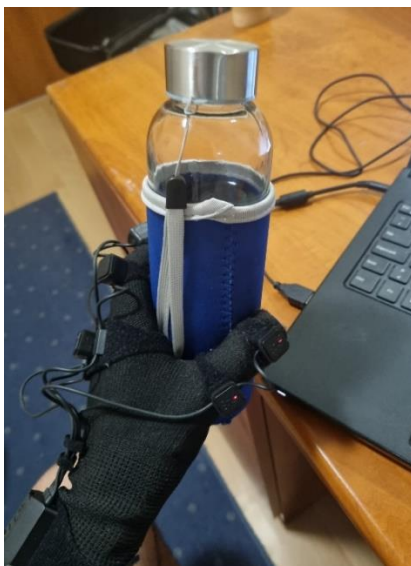
Na slici 77. su prikazane krajnje pozicije triju osi obje šake. Kao što se vidi iz dijagrama, obje šake su u krajnji poziciji jedna uz drugu. To se vidi tako što su sve osi se približile istoj vrijednosti. Os X ipak ima malo veću razliku, zbog toga jer baš lijeva i desna šaka su usporedne sa X osi pa imaju težu mogućnost potpunog približavanja jer je svijeća između.



**Slika 77. Karakteristične točke triju osi dviju šaka prilikom završetka dodavanja svijeće**

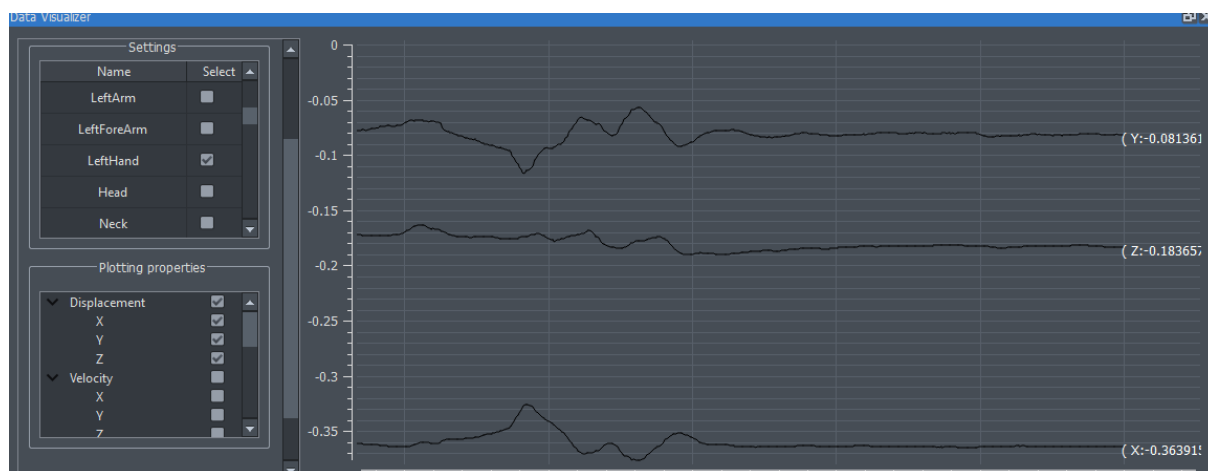
### 6.3. Otvaranje poklopca staklene boce

U ovom eksperimentu će se analizirati pokret odvijanja, tj. otvaranja poklopca staklene boce. Na slici 78. je prikaza boca koje se koristi za potrebe pokusa. Koristit će se način rada sa gornjim tijelom jer se prate pokreti obje ruke te svih deset prstiju što čini ukupno 21 senzor. Pokus se izvodio na način da se u lijevoj ruci držala boca, a u desnoj se odvrtao poklopac.



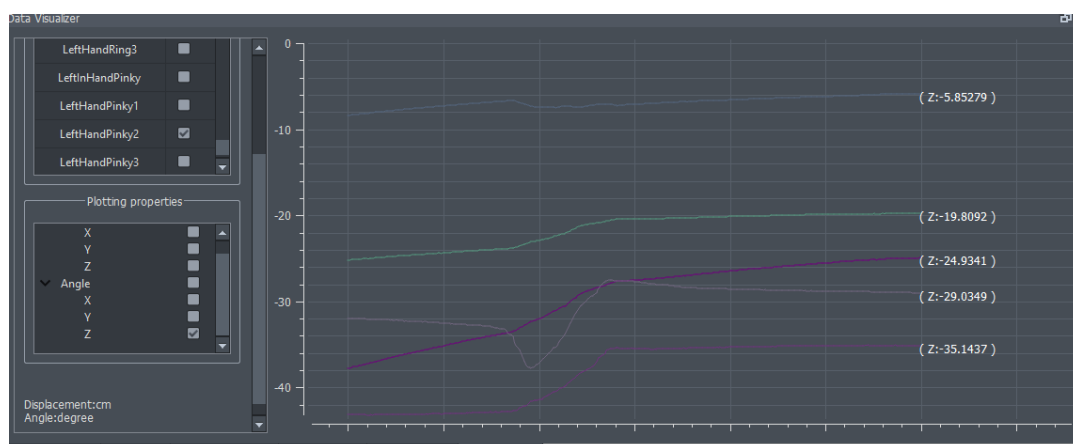
**Slika 78. Staklena boca**

Na slici 79. se vide pomaci lijeve šake po koordinatnim osima X, Y, Z. Od vrha prema dnu su redom prikazani u dijagramu: palac, kažiprst, srednji prst, mali prst i prstenjak. Na dijagramu se vidi da se za vrijeme otvaranja lijeva ruka pomicala, zbog nesavršenosti ljudskog faktora.



**Slika 79. Pomaci lijeve ruke po koordinatnoj osi Z za vrijeme otvaranja staklene boce**

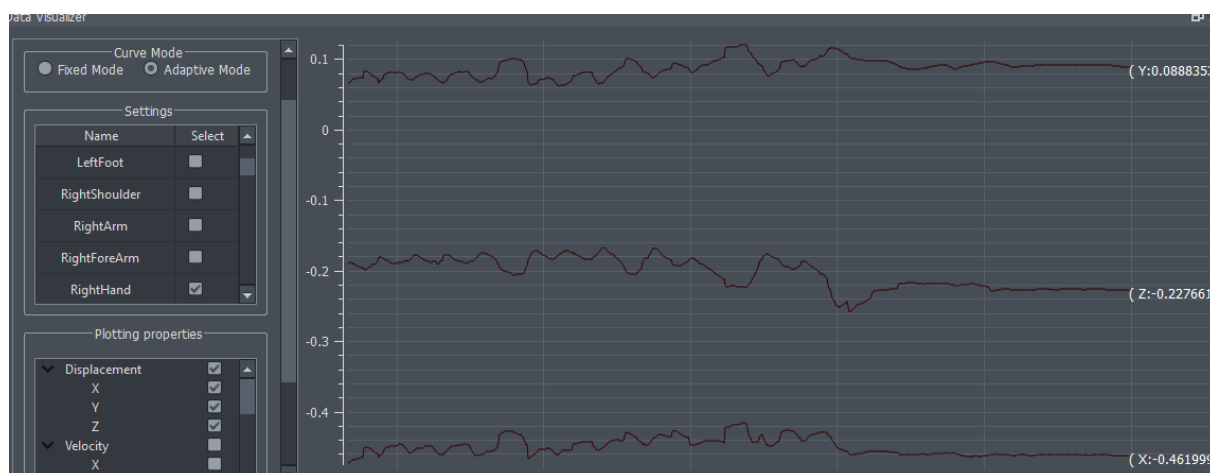
Na slici 80. se vide kutovi svih prstiju lijeve ruke. Prsti su poredani na dijagramu od vrha prema dnu sljedećim redom: palac, kažiprst, srednji prst, mali prst, prstenjak. Na dijagramu se može vidjeti da se mali prst nekontrolirano ispružio i vratio, zbog nesavršenosti ljudskog faktora.



**Slika 80. Kutovi prstiju lijeve šake tijekom otvaranja poklopca staklene boce**

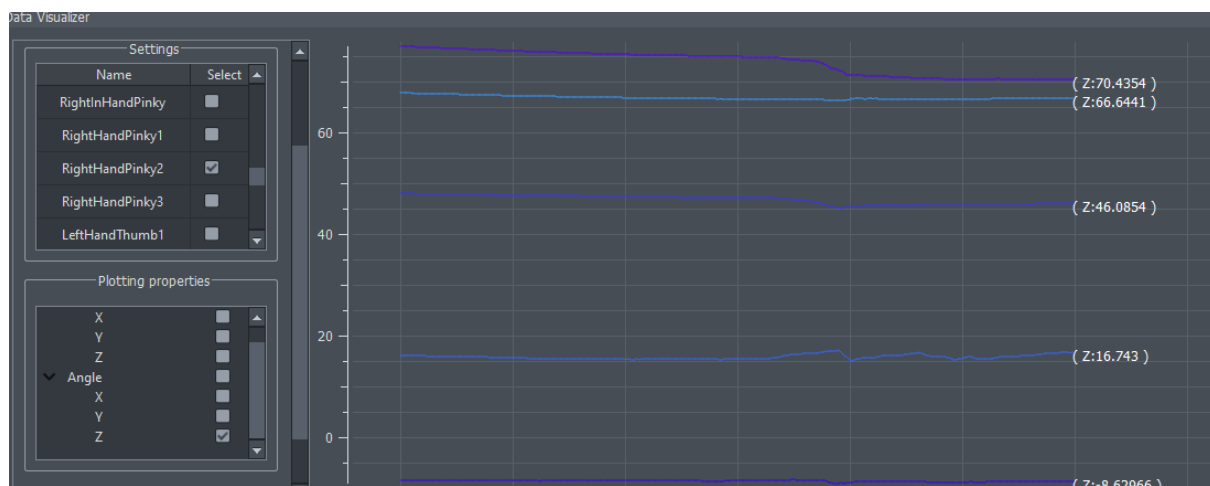
Na slici 81. se vide pomaci desne šake po koordinatnim osima X, Y, Z. Na dijagramu se može prepoznati da se desnom šakom otvarao poklopac boce, valovitim gibanjem.





**Slika 81. Pomaci prstiju lijeve šake tijekom otvaranja poklopca staklene boce**

Na slici 82. su prikazani kutovi prstiju desne šake. Uočava se minimalna promjena kuta savijanja prstiju oko koordinatne osi Z. Na slici su prikazani svi prsti sljedećim redom od vrha prema dolje: palac, kažiprst, srednji prst, prstenjak i mali prst.



**Slika 82. Kutovi prstiju desne šake tijekom otvaranja poklopca staklene boce**

#### 6.4. Zaključak nakon izvedenih pokusa

Prethodni pokusi su pokazali kako je moguće snimiti precizne podatke o pomaku i kutu pokreta različitih dijelova ruke pomoću uređaja Perception Neuron. Željene podatke se može prikazati u softveru Axis Neuron koji se onda mogu analizirati. Ovo nudi široku primjenu za istraživanja na području analize pokreta ljudske šake kao što se i prikazalo, ali i ostalih dijelova tijela. S obzirom na količinu i kvalitetu podataka ovaj uređaj može biti jako pogodan za ispitivanje pokreta ljudske anatomije. To također obuhvaća i medicinska istraživanja u pogledu medicinske dijagnostike te kirurških operacija. Analiziranje takvih podataka od presudne je važnosti jer se mogu bolje oblikovati budući radovi kod operacija. Nadalje potencijalna

zamjena ljudskog rada sa industrijskim robotom je isto poseban značaj analize pokreta ljudskog tijela.

Naime, potrebno je veliki broj ponavljanja pokusa da bi se došlo do što većeg broja podataka koji služe za treniranje algoritama strojnog učenja da bi bolje obrađivali i interpretirali podatke.

Primjena tako razvijenih algoritama bi bila u robotskim šakama nalik ljudskima koje bi se koristile u poslovima *pick and place*, montaže, rukovanjem žicama, korištenjem alata dizajniranog za čovjeka itd. Robotske linije bi postale modularnije i izmjena linije za novi proizvod bi postala daleko brža i jeftinija.

Također može se pratiti pokreti radnika, tako da se može uočiti potencijalna opasnost pri radu sa strojevima. To sigurno bi utjecalo na motiviranost radnika jer bi opreznost po zdravlje bila veća.

Nastavak na ovaj rad može biti povezivanje snimanje pokreta sa izračunom mentalne energije pomoću uređaja Emotiv EPOC+. Time si pratilo koliko je potrebno mentalne energije za svladavanje nekog rada koji uključuje ljudski pokret.

Naredni mogući smjerovi daljnjeg rada u vezi su s uključenjem dodatnih uređaja za snimanje pokreta kao što je Leap Motion, te povezivanjem snimanih pokreta s CAD softverima, ili drugim 3D softverima kao što je Unity, Unreal Engine.

## 7. ZAKLJUČAK

Potreba za što učinkovitijom izvedbom procesa zahtjeva stalno proučavanje i usavršavanje ljudskih pokreta, s obzirom da su pokreti neizostavni dio u proizvodnji, medicini, sportu ili drugim radnjama. Zato je opisana detaljna analiza značenja samog pokreta u ljudskim djelatnostima. Stoga se stalno razvijaju sustavi za snimanje i analizu pokreta koji omogućuju proučavanje pokreta i njegovu optimiranu primjenu u već spomenutim radnjama te sustav MTM, u kojem se ljudski rad razdvaja i opisuje u određenom vremenu na jednostavnije pokrete, s ciljem unaprijeđena. U proizvodnji je cilj razviti proizvod što brže i učinkovitije te potencijalno zamijeniti ljudski rad strojnim, u sportu je potrebno razviti kretnje koje će postići bolje rezultate i spriječiti ozljede dok je u kirurgiji potrebno optimirati i normirati kretnje kirurga tijekom operacije kako bi se izbjegle greške, povećala preciznost i uštedilo na vremenu.

U radu su navedeni neki oblici snimanja pokreta, dok je Perception Neuron 2.0 detaljno razjašnjen. Perception Neuron je inercijski uređaj za snimanje i analizu pokreta, koji omogućuje povezivanjem sa računalom i vizualizaciju podataka u Axis Neuron-u koji služi kao virtualno okruženje. Različiti načini rada uređaja omogućuju snimanje različitih dijelova tijela, kako od pojedinačnih dijelova tijela pa tako i cjelokupno tijelo kao cjelina. Različiti načini rada direktno ovise o broju inercijskih senzora, tj. neurona koji se priključuju na uređaj. Softverski program Axis Neuron preko svojih algoritama povezuje odabrani način rada i konfiguraciju senzora uređaja te se na taj način ostvaruje sinkronost između stvarnih pokreta korisnika i virtualnih pokreta koji se prikazuju u programu. Povezivanjem uređaja sa spomenutim softverom pruža se kvalitetno praćenje, a zatim i analiza dobivenih podataka o pokretima koji se predočuju dijagramski. Otvara se velika mogućnost izvoza podataka u ostale postojeće softvere gdje se može još bolje iskoristiti potencijal dobivenih podataka.

Nadalje, su provedeni pokusi uređajem Perception Neuron za neke jednostavne pokrete šake, ruke i prstiju, u kojima su detaljno opisani rezultati te su se analizirali podaci. Ti isti podaci se mogu biti podloga za naprednije korištenje analize pokreta u raznim primjenama. Navedeno je nekoliko prijedloga za nastavak na ovaj rad, od kojih je najzanimljiviji praćenje kretanja kirurga tijekom operacije u svrhu povećanje preciznosti i izbjegavanje grešaka.

---

**LITERATURA**

- [1] Perić E.: Industrija 4.0,  
<https://www.hgk.hr/documents/hgk-industrija-4058d8c59722f1e.pdf>  
Pristupljeno: 2022-11-04
- [2] Biomechanis - What it is and why it is important?,  
<https://www.patcash.co.uk/2011/09/biomechanics-what-it-is-and-why-it-is-important-for-tennis/>  
Pristupljeno: 2022-11-06
- [3] Vileep K. S.: Movement Analysis, Kuvempu University, Shivamogga India
- [4] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09333365717306681>  
Pristupljeno: 2022-11-07
- [5] <https://surgery.med.ufl.edu/> Pristupljeno: 2022-11-07
- [6] Šare N.: Snimanje i analiza pokreta u virtualnoj stvarnosti [Diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020. Dostupno na: <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:6531>
- [7] Human-Robot Interaction for object manipulation,  
<https://www.imperial.ac.uk/mechatronics-in-medicine/research/human-robot-interaction-for-object-manipulation/>  
Pristupljeno: 2022-11-08
- [8] 11 zanimljivih činjenica o virtualnoj stvarnosti, <https://pcchip.hr/ostalo/tech/11-interesantnih-cinjenica-o-virtualnoj-stvarnosti-i-njezinom-razvoju/>  
Pristupljeno: 2022-11-10
- [9] Kunica Z.: Zavarivanje i montaža, nastavni materijal, FSB, Zagreb, 2022.
- [10] Therbligs and 18 Motions Name with Symbols, P. Sarkar,  
<https://www.onlineclothingstudy.com/2018/06/therbligs-and-18-motions-name-with.html>  
Pristupljeno: 2022-11-12
- [11] Prljjić S., Prljjić K., Stevanović M.: Mogućnost primjene MTM metode u proizvodnim procesima, 2018
- [12] Almeida D. L. M., Ferreira J. C. E.: Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies, Florianópolis Brazil 2009.
- [13] <https://mtm.org/en/software/software> Pristupljeno: 2022-11-14

- [14] <https://www.eaws.it/> Pristupljeno: 2022-11-14
- [15] <https://www.mtm-psc.com/software/> Pristupljeno: 2022-11-15
- [16] <https://www.gearssports.com/articles/optical-vs-inertial-motion-capture/>  
Pristupljeno: 2022-11-15
- [17] <https://www.rokoko.com/insights/the-complete-guide-to-professional-motion-capture>  
Pristupljeno: 2022-11-15
- [18] Motion capture wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Motion\\_capture#Methods\\_and\\_systems](https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture#Methods_and_systems)  
Pristupljeno: 2022-11-16
- [19] N. Alberto Borghese: Motion Capture Passive markers and video-based techniques,  
University of Milano
- [20] Optitrack Motion Capture, <https://optitrack.com/> Pristupljeno: 2022-11-17
- [21] Vicon Motion Capture, <https://www.vicon.com/> Pristupljeno: 2022-11-17
- [22] Qualisys Motion Capture, <https://www.qualisys.com/> Pristupljeno: 2022-11-17
- [23] Mo-sys Motion Capture, <https://www.mo-sys.com/> Pristupljeno: 2022-11-17
- [24] Rokoko Motion Capture, <https://www.rokoko.com/> Pristupljeno: 2022-11-10
- [25] Blender Software, <https://blender.com/> Pristupljeno: 2022-11-17
- [26] Unreal Engine, <https://www.unrealengine.com/en-US/> Pristupljeno: 2022-11-17
- [27] Autodesk Maya, <https://www.autodesk.com/products/maya/overview>  
Pristupljeno: 2022-11-17
- [28] Unity, <https://unity.com/> Pristupljeno: 2022-11-17
- [29] Što je virtualna stvarnost? 2018, <https://dir.hr/sto-virtualna-stvarnost/>  
Pristupljeno: 2022-11-18
- [30] Virtualna stvarnost – tehnologija budućnosti, Darko Sigur,  
<https://www.spsistemi.hr/column/virtualna-stvarnost-tehnologija-buducnosti/>  
Pristupljeno: 2022-11-18
- [31] <https://www.vive.com/us/> Pristupljeno: 2022-11-18
- [32] <https://store.steampowered.com/valveindex> Pristupljeno: 2022-11-18
- [33] <https://neuronmocap.com/> Pristupljeno: 2022-11-18
- [34] <https://www.noitom.com/> Pristupljeno: 2022-11-18
- [35] <https://www.target3d.eu/product-page/perception-neuron-2-0> Pristupljeno: 2022-11-18
- [36] <https://futurus.com/virtual-reality/perception-neuron-v2-review/> Pristupljeno: 2022-11-18
- [37] Axis Neuron Manual Noitom, pdf

- 
- [38] Axis Neuron User Guide, pdf
- [39] Wu Y., Tao K., Chen Q., Tian Y, Sun L.: A Comprehensive Analysis of the Validity and Reliability of the Perception Neuron Studio for Upper-Body Motion Capture, Beijing, 2022
- [40] Short Film Twenty One Points, <https://noitom.com/articles/short-film-twenty-one-points-features-vfx-magic-created-perception-neuron-motion-capture>  
Pristupljeno: 2022-11-20
- [41] Wang Z., Liang R., Chen Z., Liang B.: Fast and Intuitive Kinematics Mapping for Human-Robot Motion Imitating: A Virtual-Joint-Based Approach, Berlin, 2020
- [42] Perception Neuron Motion Capture Creates Virtual Worlds at Berlin Digital Art Exhibit, <https://neuronmocap.com/blogs/news/perception-neuron-motion-capture-creates-virtual-worlds-at-berlin-digital-art-exhibit>  
Pristupljeno: 2022-11-22
- [43] Optical Motion Capture, <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/optical-motion-capture>  
Pristupljeno: 2022-11-22