

# Sustavi snimanja pokreta i njihove primjene

---

**Jerman, Elvin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:471961>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-26**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Elvin Jerman**

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl.inž.

Student:

Elvin Jerman  
0035212242

Zagreb, 2021.

**ZADATAK**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: <b>602 - 04 / 21 - 6 / 1</b>	
Ur.broj: <b>15 - 1703 - 21 -</b>	

**ZAVRŠNI ZADATAK**

Student: **Elvin Jerman** JMBAG: **0035212242**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Sustavi snimanja pokreta i njihove primjene**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Motion capture systems and their applications**

Opis zadatka:

Pokreti tijela su neizostavan dio ljudskog postojanja i svakodnevice, a od posebnog interesa za oblikovanje, normiranje i planiranje ljudskog rada. Povrh toga, poznavanje naravi pokreta omogućuje razvoj uređaja za olakšavanje i zamjenu ljudskog rada strojnim. Stoga je razumljiv intenzivan istraživački rad na tome području i prisutnost sve većeg broja uređaja kojima se podaci o pokretima prikupljaju.

U radu je potrebno:

1. opisati važnost pokreta za obavljanje ljudskih djelatnosti
2. navesti neke od načina snimanja i analize pokreta
3. opisati dostupnu opremu – Perception Neuron 2.0
4. razmotriti i predložiti moguće primjene gornje opreme.

Zadatak zadan:

6. svibnja 2021.

Datum predaje rada:

**2. rok (izvanredni):** 5. srpnja 2021.  
**3. rok:** 23. rujna 2021.

Predvideni datumi obrane:

**2. rok (izvanredni):** 9.7.2021.  
**3. rok:** 27.9. – 1.10.2021.

Zadatak zadao:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## **IZJAVA**

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici na svim savjetima, pomoći i potpori prilikom pisanja ovog završnog rada.

Zahvaljujem kolegi Janu Topolnjaku na pomoći prilikom snimanja pokusa i rada s opremom.

Zahvaljujem obitelji, a posebno roditeljima što su oduvijek velika potpora.

Također zahvaljujem svim prijateljima i kolegama na pruženoj podršci.

U Zagrebu, 23. rujna 2021.

Elvin Jerman

## **SAŽETAK**

Pokreti su neizostavan dio ljudskog života i njihova zastupljenost u svim područjima ljudske djelatnosti potiče na pozornije proučavanje njihove naravi. Sustavi za snimanje i analizu pokreta omogućuju bolje shvaćanje i upotrebu podataka vezanih uz ljudsko kretanje. U radu je istaknuta važnost pokreta u ljudskim djelatnostima te su navedene neke tehnologije snimanja pokreta i opisani principi rada svake od njih. Detaljno je razmotren uređaj za snimanje pokreta Perception Neuron 2.0.: dijelovi uređaja, postupak povezivanja s računalom, korisničko sučelje program Axis Neuron te načini rada uređaja. Navedeni su primjeri primjene uređaja te izveden niz pokusa, prikazanih u programu Axis Neuron.

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

## **SUMMARY**

Movements are an indispensable part of human life and their representation in all areas of human activity encourages a more careful study of their nature. Motion capturing and analysis systems enable better understanding and use of data related to human movements. This work emphasizes the importance of movement in human activities and lists some motion capturing technologies and describes the principles of operation of each of them. The motion capture device Perception Neuron 2.0 is described in detail: parts of the device, the process of connecting to a computer, the Axis Neuron user interface software, and how the device works. Examples of device applications are given and a series of experiments are performed, presented in the Axis Neuron program.

Key words: motion, capturing, Perception Neuron 2.0, Axis Neuron

## SADRŽAJ

ZADATAK.....	1
IZJAVA.....	2
SAŽETAK.....	3
SUMMARY .....	4
POPIS OZNAKA .....	7
POPIS SLIKA .....	8
POPIS TABLICA.....	10
1. UVOD.....	11
2. VAŽNOST POKRETA U LJUDSKIM DJELATNOSTIMA.....	14
3. NAČINI SNIMANJA I ANALIZE POKRETA .....	17
3.1. Optički sustavi za snimanje.....	18
3.1.1. Sustavi bilježenja pokreta markerom.....	18
3.1.1.1. Aktivni markeri.....	18
3.1.1.2. Vremenski modulirani aktivni markeri.....	19
3.1.1.3. Pasivni markeri .....	19
3.1.1.4. Polupasivni neprimjetni markeri.....	19
3.1.2. Sustavi snimanja pokreta bez markera.....	20
3.2. Neoptički sustavi snimanja pokreta .....	20
3.2.1. Inercijski senzori pokreta .....	20
3.2.2. Mehanički senzori pokreta .....	21
3.2.3. Magnetski senzori pokreta .....	21
4. UREĐAJ PERCEPTION NEURON 2.0 .....	23
4.1. Dijelovi uređaja i oprema.....	24
4.2. Povezivanje uređaja Perception Neuron s računalom.....	29
4.3. Program Axis Neuron .....	32
4.3.1. Korisničko sučelje.....	32
4.4. Načini rada opreme .....	34
4.4.1. Način rada: Cijelo tijelo .....	35
4.4.2. Način rada: Jedna ruka.....	36
4.4.3. Način rada: Gornji dio tijela .....	37
4.4.4. Način rada: Donji dio tijela.....	38
5. PRIMJENA UREĐAJA PERCEPTION NEURON 2.0.....	39
5.1. Raznolikost primjene opreme .....	39
5.2. Simulacija i trening kirurške operacije .....	39
5.3. Snimanje ljudskog kretanja za procjenu kinematičkih parametara specifičnih pokreta na 400 metara s preponama.....	40
6. POKUSI UREĐAJEM PERCEPTION NEURON 2.0.....	44
6.1. Pokusi izvođeni jednom rukom.....	45



---

6.1.1.	Korištenje triju senzora: klizanje dlana po stolu i dizanje dlana uvis .....	46
6.1.2.	Korištenje šest senzora: savijanje kažiprsta lijeve ruke .....	52
6.1.3.	Korištenje devet senzora: savijanje kažiprsta lijeve ruke .....	55
6.2.	Način rada s cijelim tijelom – korištenje dodatnog senzora .....	58
7.	ZAKLJUČAK.....	64
8.	LITERATURA .....	65

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
engl.		engleski
$X$		koordinatna os
$Y$		koordinatna os
$Z$		koordinatna os

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Primarna djelatnost – stočarstvo [3].....	11
Slika 2.	Sekundarna djelatnost – industrija [3].....	12
Slika 3.	Kretanje čovjeka [8] .....	14
Slika 4.	Interakcija robota i čovjeka [9] .....	15
Slika 5.	Suradnja čovjeka i robota [10] .....	15
Slika 6.	Snimljeni niz pokreta tenisača [11] .....	16
Slika 7.	Pokreti u kirurškim zahvatima [12].....	16
Slika 8.	Snimanje pokreta u filmu [13].....	17
Slika 9.	Optički sustav za snimanje [15] .....	20
Slika 10.	Uređaj Perception Neuron [19] .....	23
Slika 11.	Senzor Neuron [16] .....	24
Slika 12.	Rukavice [16] .....	25
Slika 13.	Nosač kamere [16].....	25
Slika 14.	Set remena [17] .....	26
Slika 15.	Kabel za prijenos podataka [21].....	26
Slika 16.	Koncentrator (HUB) [16] .....	27
Slika 17.	Kabel za vanjsku bateriju (crveno) i kabel za direktno spajanje (crno) [16].....	27
Slika 18.	Perception Neuron dijelovi na čitavom tijelu [20] .....	28
Slika 19.	Perception Neuron dijelovi – gornji dio tijela [20] .....	29
Slika 20.	Koncentrator [16] .....	30
Slika 21.	Kalibracija senzora [22] .....	31
Slika 22.	Korisničko sučelje programa Axis Neuron [22].....	33
Slika 23.	Nužni i dodatni senzori [22].....	34
Slika 24.	Razlike u stvarnim pokretima tijela između niskih (A) i visokih (B) ukupnih rezultata [24].....	40
Slika 25.	Svladavanje prepone u maršu [25] .....	41
Slika 26.	Svladavanje prepone u trku [25] .....	41
Slika 27.	Prikaz podataka o pokretima – program Axis Neuron .....	45
Slika 28.	Tri, šest i devet međusobno povezana senzora i lokacija svakoga senzora na ruci [23] .....	46
Slika 29.	Pokus pomicanja dlana naprijed–natrag: početni položaj virtualnog tijela.....	47
Slika 30.	Pokus pomicanja dlana naprijed–natrag: prikaz početnih podataka pomaka dlana (u metrima).....	48
Slika 31.	Pokus pomicanja dlana naprijed–natrag: krajnji položaj virtualnog tijela.....	49
Slika 32.	Pokus pomicanja dlana naprijed–natrag: prikaz krajnjih podataka pomaka dlana unaprijed (u metrima).....	49
Slika 33.	Pokus pomicanja dlana desno–lijevo: prikaz početnih podataka pomaka dlana... 50	50

Slika 34.	Pokus pomicanja dlana desno–lijevo: prikaz krajnjih podataka pomaka dlana udesno.....	51
Slika 35.	Pokus pomicanja dlana gore–dolje: prikaz podataka pomaka dlana.....	51
Slika 36.	Početni položaj prstiju .....	52
Slika 37.	Sklopljeni položaj prstiju.....	53
Slika 38.	Usporedba kuta savijanja prstiju – šest senzora .....	54
Slika 39.	Početna pozicija prstiju .....	56
Slika 40.	Krajnji položaj kažiprsta, nakon savijanja .....	56
Slika 41.	Kut savijanja kažiprsta: dijagram ovisnosti kuta (u stupnjevima) o vremenu (u sekundama).....	57
Slika 42.	Usporedba kuta savijanja prstiju – devet senzora .....	57
Slika 43.	Korištenje dodatnog senzora kao alata [23] .....	59
Slika 44.	Početni oblik rekvizita [23] .....	60
Slika 45.	Prikaz rasporeda spojenih senzora .....	61
Slika 46.	Postavke dodatnog senzora .....	62
Slika 47.	Pozicioniranje (lijevo) i oblikovanje (desno) virtualnog rekvizita [23] .....	62
Slika 48.	Upravljanje rekvizitom oblika kvadra .....	63

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Spajanje senzora načinom rada s cijelim tijelom [23].....	35
Tablica 2. Spajanje senzora načinom rada s jednom rukom [23].....	36
Tablica 3. Spajanje senzora načinom rada s gornjim dijelom tijela [23] .....	37
Tablica 4. Spajanje senzora načinom rada s donjim dijelom tijela [23].....	38
Tablica 5. Karakteristike trkača [25].....	42

## 1. UVOD

Ljudi se od svojih početaka bave raznim djelatnostima kako bi si omogućili što dulji i kvalitetniji život.

Ljudske se djelatnosti mogu podijeliti na primarne, sekundarne, tercijarne i kvartarne [26].

Primarne djelatnosti su djelatnosti koje se odnose na dobivanje hrane. To su prvenstveno poljodjelstvo koje se dijeli na poljoprivredu i stočarstvo (Slika 1.), zatim ribarstvo i šumarstvo. Primarne djelatnosti zadovoljavaju osnovne čovjekove potrebe, te su prve ljudske djelatnosti koje su se razvile u povijesti i sve do industrijske revolucije se njima bavilo preko 90 % svjetskog stanovništva. Počeci poljoprivrede se javljaju u neolitiku kad čovjek zbog poljoprivrede počinje bolje i duže živjeti (tzv. neolitska revolucija). Poljoprivreda je sve do novog vijeka zapošljavala glavninu stanovništva, ali je zbog primitivne proizvodnje davala male prinose. U novom vijeku počinje modernizacija poljoprivrede, te ona daje više prinose uz bitno smanjenje korištenja radne snage [1].



**Slika 1. Primarna djelatnost – stočarstvo [3]**

Sekundarne djelatnosti obuhvaćaju ljudske djelatnosti koje se odnose na proizvodnju raznih dobara koje su potrebne čovjeku osim proizvodnje hrane. Najvažnije sekundarne djelatnosti su industrija (Slika 2.), građevinarstvo, rudarstvo, energetika, brodogradnja i

proizvodno obrtništvo. Sekundarne djelatnosti proizvode ona dobra koja čovjeku nisu nužno potrebna za život, ali bitno poboljšavaju kvalitetu života [2].



**Slika 2. Sekundarna djelatnost – industrija [3]**

Tercijarne djelatnosti (uslužne djelatnosti) su one koje stvaraju ekonomsko dobro, gdje za razliku od robe, materijalna proizvodnja ili materijalna vrijednost krajnjeg proizvoda nije u prvom planu, nego usluga, fizičke ili pravne osobe, koju se nudi na određeno vrijeme ili u vremenskom okviru kako bi pokrila potražnju. Usluge mogu uključivati nematerijalne aktivnosti kao što su tehnički savjet ili zastupanje [4].

Postoje još kvartarne aktivnosti [26] koje uključuju: obrazovanje, znanost, zdravstvo i kulturu.

Sve navedene djelatnosti teže olakšavanju i povećanju kvalitete ljudskog života.

U današnje vrijeme, snažnim razvojem tehnike, karakterističan je trend digitalizacije koji slojevito posreduje između materijalne stvarnosti i ljudi. Riječ je o odmaku od izravno materijalnog prema virtualnom. Tako se ljudskim djelovanjem stvaraju usporedni svjetovi, i napredak tehnologije omogućuje sve zamašnije procese opredmećivanja i automatizacije ljudskosti, i na izvršnoj, i na upravljačkoj razini [5].

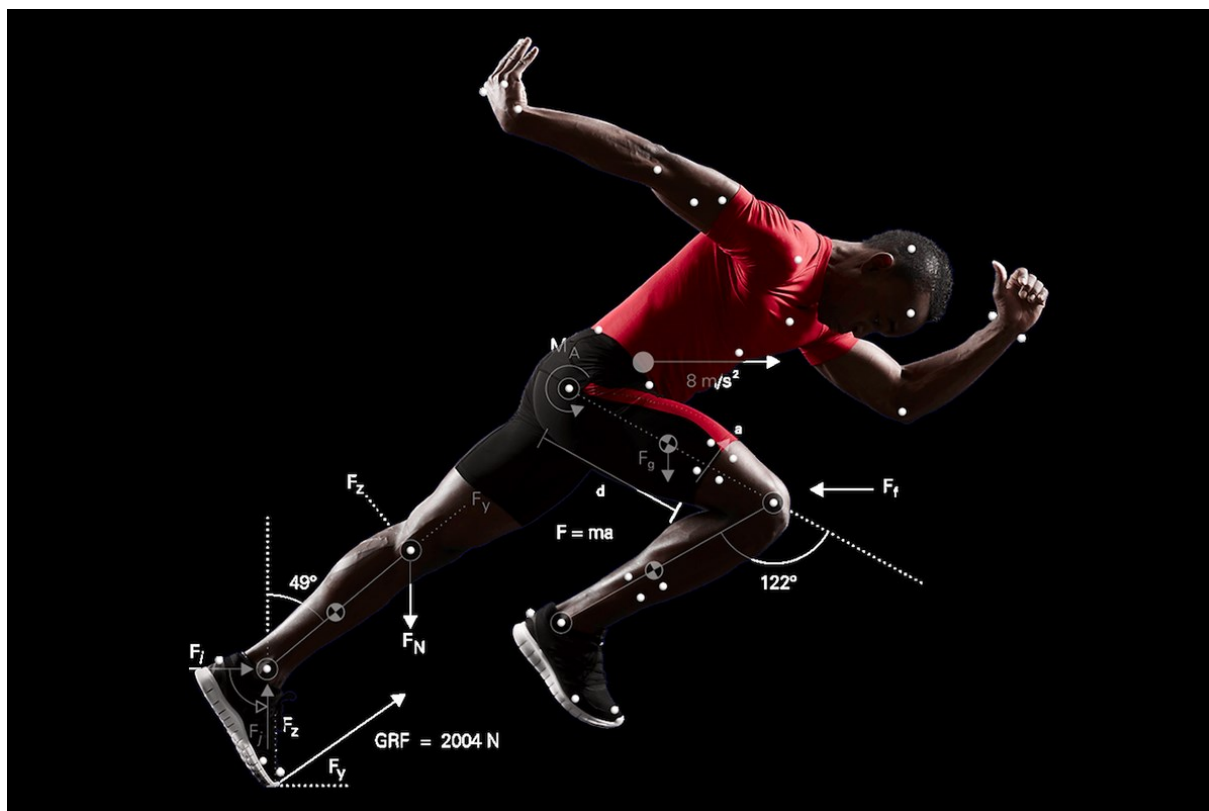
Bilo da je riječ o automatiziranim ili ručno izvođenim procesima, proizvodno-radnim ili svakodnevnim i nesvjesnim, u svakome od njih prisutni su gibanja i pokreti, kojima se ostvaruje neki rad [6]. Stoga se danas, više nego ikada prije, pridaje pažnja analizi pokreta u svrhu povećanja učinkovitosti, kvalitete, a samim time i povećanja profita. Shodno tomu, u

ovome radu razmotrit će se snimanje i analiza pokreta, sustavi za snimanje pokreta te njihova tehnologija.



## 2. VAŽNOST POKRETA U LJUDSKIM DJELATNOSTIMA

Pokret je najvažnija funkcija egzistencije ljudskog organizma, a sve su druge funkcije povezane s njim, dakle pokret je uvjet života. Pokret se javlja i u situacijama kada je njegova vanjska izvedba manje vidljiva, poput disanja, cirkuliranja krvi, metabolizma, probave itd. Sva živa bića imaju univerzalnu potrebu za kretanjem jer bez kretanja ne bi bilo života [7]. Slika 3. prikazuje čovjeka u pokretu.



Slika 3. Kretanje čovjeka [8]

Ljudska tijela predviđena su za kretanje. Razvitkom tehnologije, proširile su se i mogućnosti korištenja pokreta u svakodnevnom životu. Virtualna stvarnost, videoigre, filmovi, interakcija s robotima (Slika 4.), neki su primjeri proširene mogućnosti korištenja pokreta koji dolaze do izražaja u odnosu na prošla vremena. Stoga, gibanje i pokreti imaju i u današnjem svijetu vrlo veliku i važnu ulogu.



**Slika 4. Interakcija robota i čovjeka [9]**

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. Slika 5. prikazuje suradnju čovjeka i robota. 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 [5].



**Slika 5. Suradnja čovjeka i robota [10]**

Znanost o pokretima je vrlo bitna i za druga područja u kojima se također može primijeniti.

U sportu mnogo toga ovisi o načinu izvođenja određene kretnje te se teži definiranju optimalnog načina izvođenja. Slika 6. prikazuje snimljeni niz pokreta tenisača



**Slika 6. Snimljeni niz pokreta tenisača [11]**

U medicini, osim valjanosti shvaćanja načina kretanja ljudskog tijela za potrebe liječenja i rehabilitacije, znanost o pokretima može definirati odmjerene i precizne pokrete, poput onih koji se primjenjuju u kirurškim zahvatima (Slika 7.) [6].



**Slika 7. Pokreti u kirurškim zahvatima [12]**

### 3. NAČINI SNIMANJA I ANALIZE POKRETA

Snimanje pokreta (engl. *motion capture*) je proces snimanja kretanja objekata ili ljudi. Koristi se u vojne, zabavne, sportske, medicinske svrhe te za razvoj računalnog vida i robotike. U stvaranju filmova (Slika 8.) i razvoju videoigara, snimanje se odnosi na snimanje radnji glumaca i korištenje tih informacija za animaciju modela digitalnih likova u 2D ili 3D računalnoj animaciji.



**Slika 8. Snimanje pokreta u filmu [13]**

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 upotrebom mjerne trake, mikrometra ili drugog uređaja koji mjeri udaljenost od referentne točke i ručno bilježenje promjena promatrane udaljenosti [14].

Prvi veliki korak u razvoju snimanja pokreta ostvario je 1960-ih godina Lee Harrison III. Koristeći niz analognih krugova, katodnih cijevi i podesivih otpornika, Harrison je osmislio sustav koji bi mogao snimati i animirati kretanje osobe u stvarnom vremenu.

Sa sve većom sviješću o tome kako tehnike snimanja pokreta mogu poboljšati produkciju, veća je pozornost posvećena snimanju lica. Mnoge tvrtke razvile su vrlo precizne sustave koji, u kombinaciji s moćnim grafičkim uređajima, rezultiraju sličnim, fotorealističnim slikama lica.

Danas postoji mnogo različitih podjela tehnologije za snimanje pokreta. Ovdje će se ona podijeliti na dvije skupine [15]:

- Optički sustavi za snimanje
- Neoptički sustavi za snimanje.

### **3.1. Optički sustavi za snimanje**

Optičko snimanje pokreta (Slika 9.) koristi nekoliko kamera koje vide objekt ili osobu iz različitih kutova. Ova vrsta tehnologije funkcionira poput binokularnog vida, kroz koji svijet u okruženju vidimo kao opsežan. Na isti način, korištenjem dvije ili više kamera koje nadziru jedan ili više objekata omogućuje pretvaranje objekta u trodimenzionalne modele.

Sustavi optičkog hvatanja pokreta podijeljeni su u dvije vrste, kako slijedi.

#### **3.1.1. Sustavi bilježenja pokreta markerom**

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 fiksirani su 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.

##### **3.1.1.1. Aktivni markeri**

Aktivni markeri sami su izvor svjetlosti. U pravilu se radi o LED diodama koje emitiraju elektromagnetsko polje koje se detektira u stvarnom vremenu. Svaka LED dioda dodijeljena je identifikatoru, koji softveru za snimanje pokreta ne miješa oznake međusobno, a također ih prepoznaje nakon što su blokirane i ponovno se pojave u vidnom polju kamera.

Jedan od primarnih problema aktivnog sustava veliki je broj žica koje mogu spriječiti osobu u izvođenju složenih pokreta.

Ako se koriste s kamerama visoke razlučivosti, LED markeri omogućuju praćenje složenijih i manjih pokreta tijela, poput izraza lica. Osim toga, LED oznake su krhke i relativno visoke cijene.

### 3.1.1.2. *Vremenski modulirani aktivni markeri*

Ova tehnologija snimanja pokreta uspješnija je varijanta prethodne. Neki se markeri prate po jedinici vremena, koja modulira amplitudu ili širinu impulsa kako bi se osigurala identifikacija markera.

Tako se omogućuje preciznije identificiranje markera u vremenu, u većoj prostornoj i vremenskoj razlučivosti. Veća točnost prijenosa pokreta zahtijeva pažljiviju obradu podataka, a time i snažniju opremu i softver za snimanje pokreta.

### 3.1.1.3. *Pasivni markeri*

Pasivni markeri prekriveni su reflektirajućim materijalom koji može reflektirati izvor svjetlosti. Softver za snimanje pokreta integriran je za simulaciju 3D modela nakon dobivanja podataka o kretanju objekta. Nedostatak pasivnih označivača je taj što ih brzim kretanjem ili neposrednom blizinom markera, softver za snimanje pokreta može zbuniti. Ova tehnologija ne omogućuje identifikaciju svakog markera, za razliku od aktivnih markera.

### 3.1.1.4. *Polupasivni neprimjetni markeri*

U ovoj tehnologiji koriste se multi-LED projektori velike brzine umjesto kamere velike brzine. Posebno izrađeni multi-LED infracrveni projektori optički kodiraju prostor. Umjesto aktivnih i pasivnih markera, ova tehnologija snimanja pokreta primjenjuje fotoosjetljive oznake markera za dekodiranje optičkih signala. Oznake za označavanje mogu se nevidljivo postaviti ne samo u odjeću, već i u bilo koju točku scene.

Oznake za označavanje mogu odrediti ne samo njihovo mjesto već i osvjetljenje, njihovu orijentaciju i refleksiju. Moguće je instalirati neograničenu količinu oznaka koje se mogu jedinstveno identificirati kako bi se spriječilo ponavljanje identifikacije markera.

Budući da se ne primjenjuju kamere velike brzine i odgovarajući tok slike velike brzine, potrebna je manja propusnost. Ova je tehnologija prikladnija za snimanje fiksnih pokreta i emitiranje virtualnih setova u stvarnom vremenu.

### 3.1.2. Sustavi snimanja pokreta bez markera

Tehnologija snimanja pokreta bez markera ne zahtijeva posebne senzore ili posebno odijelo. Temelji se na tehnologijama računalnog vida i prepoznavanja uzoraka. Siluetu osobe provjerava nekoliko kamera iz različitih kutova. Praćenje se vrši uobičajenom kamerom, web kamerom i osobnim računalom. Osoba može nositi običnu odjeću koja omogućuje izvođenje složenih pokreta, poput pada ili skakanja, bez rizika od oštećenja senzora. Ponekad nema potrebe za posebnom opremom, rasvjetom i prostorom.



Slika 9. Optički sustav za snimanje [15]

## 3.2. Neoptički sustavi snimanja pokreta

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

- inercijski
- mehanički
- magnetski.

### 3.2.1. Inercijski senzori pokreta

Inercijski sustavi koriste inercijske senzore, uključujući minijaturne giroskope, koji se nalaze na tijelu osobe, kao i markere ili magnete u drugim sustavima za snimanje pokreta. Podaci sa senzora prenose se na računalo, gdje se obrađuju i bilježe. Sustav određuje ne samo

položaj senzora već i kut njegovog nagiba. Inercijski sustavi koriste se samo za praćenje pokreta, ne mogu uhvatiti izraze lica.

Omogućuje praćenje samo kretanja pojedinih dijelova objekta u odnosu na sam objekt. Na primjer, ako se osoba kreće, pokreti njezinih ruku dobro se bilježe.

Za određivanje položaja osobe u prostoru potreban je dodatni mini sustav, optički ili magnetski. Osobi je potrebno priključiti dodatni regulator i spojiti ga na magnetske markere. Snop žica može se čak rastegnuti od osobe do računala.

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

Mehanički sustavi izravno prate savijanja zglobova. Na osobu se stavlja poseban mehanički kostur koji ponavlja sve njegove pokrete. U računalu se prenose podaci o kutovima pregiba svih zglobova. Sustavi mehaničkih senzora pokreta mogu biti žični i bežični.

U usporedbi s inercijskim sensorima ili optičkim sensorima pokreta, bežični mehanički sustav snimanja pokreta omogućuje izravno mjerenje pokreta, što znači da se objekt može slobodnije kretati u velikom okruženju, neovisno o središnjem sustavu kamere ili reflektirajućoj svjetlosti.

Također, mehanički senzori pokreta mogu pratiti samo pokrete tijela, a ne i izraz lica. Ako se koristi neoprezno, postoji opasnost od kvara mehanike. Općenito, takvi su sustavi prilično autonomni i relativno jeftini.

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

U magnetskim sustavima markeri su magneti, a prijemnici djeluju kao kamere. Sustav skenira njihove položaje izobličenjem magnetskog toka. Sustav magnetskog snimanja pokreta uključuje senzore, pri čemu svaki od njih radi za mjerenje položaja i rotacije odgovarajućeg zgloba. Odašiljači su integrirani u uređaj za magnetsko snimanje pokreta. Oni mogu generirati do šest stupnjeva slobode, što je više nego u sustavima mehaničkog kretanja.

Radno područje snimanja magnetskih sustava mnogo je manje nego optičkih sustava.

Magnetski sustavi s više osoba koje djeluju u istom prostoru smanjuju točnost mjerenja položaja zbog smetnji koje stvaraju senzori drugog sustava magnetskog snimanja.

Nadalje, magnetski sustavi podložni su magnetskim i električnim smetnjama uzrokovanim metalnim predmetima i uvjetima okoline, poput električnih instalacija, uredske



opreme ili komponenata u zgradi. Dakle, magneti mogu pružiti visoku točnost samo u okruženju koje se može kontrolirati. Magnetski sustavi za snimanje ne mogu uhvatiti pokrete i izraze lica. Magneti koji djeluju kao senzori prilično su skupi.

#### 4. UREĐAJ PERCEPTION NEURON 2.0

U ovome radu posebno će se istražiti uređaj Perception Neuron 2.0.

Perception Neuron je uređaj namijenjen snimanju pokreta, i proizvod kineske tvrtke Noitom.

Noitom je tvrtka posvećena tome da „tehnologiju snimanja pokreta učini dostupnom svakome“. Noitom je riječ „pokret“ (engl. *motion*) napisana obrnuto, doista opravdava svoje ime, razvijajući tehnologiju snimanja pokreta za razvoj igara, VFX (vizualni efekti), virtualnu stvarnost, animaciju i drugo [16].

Perception Neuron posebno je zamišljen kao profesionalni alat za programere videoigara, filmaše, stručnjake za vizualne efekte, istraživače biomehanike, sportske i medicinske analitičare i ljubitelje virtualne stvarnosti kako bi imali fleksibilnu i pristupačnu platformu za eksperimentiranje i pomicanje granica kretanja. Slika 10. prikazuje zapakiranu opremu Perception Neuron.



Slika 10. Uređaj Perception Neuron [19]

#### 4.1. Dijelovi uređaja i oprema

Dijelovi uređaja Perception Neuron 2.0 jesu:

1. Neuron – inercijska mjerna jedinica (jedinka) – malen i lagan individualni senzor (Slika 11.)
2. Rukavice – (Slika 12.)
3. Nosač kamere (Slika 13.) – nosač sa savitljivim vratom, dizajniran je za web kamere ili bežične akcijske kamere.
4. Set remena Perception Neuron 2.0 (Slika 14.) – remeni na koje se pričvršćuju neuroni i koncentrator (HUB).
5. Kabel za prijenos podataka (Slika 15.) – prijenos podataka između neurona.
6. Koncentrator (HUB) ili čvorište (Slika 16.) – sklop koji služi kao sredstvo preko kojeg se usredotočuje tok podataka između opreme i računala.
7. USB kabel za vanjsku bateriju i USB kabel za spajanje koncentratora i računala (Slika 17.):
  - 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 11. Senzor Neuron [16]



Slika 12. Rukavice [16]



Slika 13. Nosač kamere [16]



Slika 14. Set remena [17]



Slika 15. Kabel za prijenos podataka [21]



**Slika 16. Koncentrator (HUB) [16]**

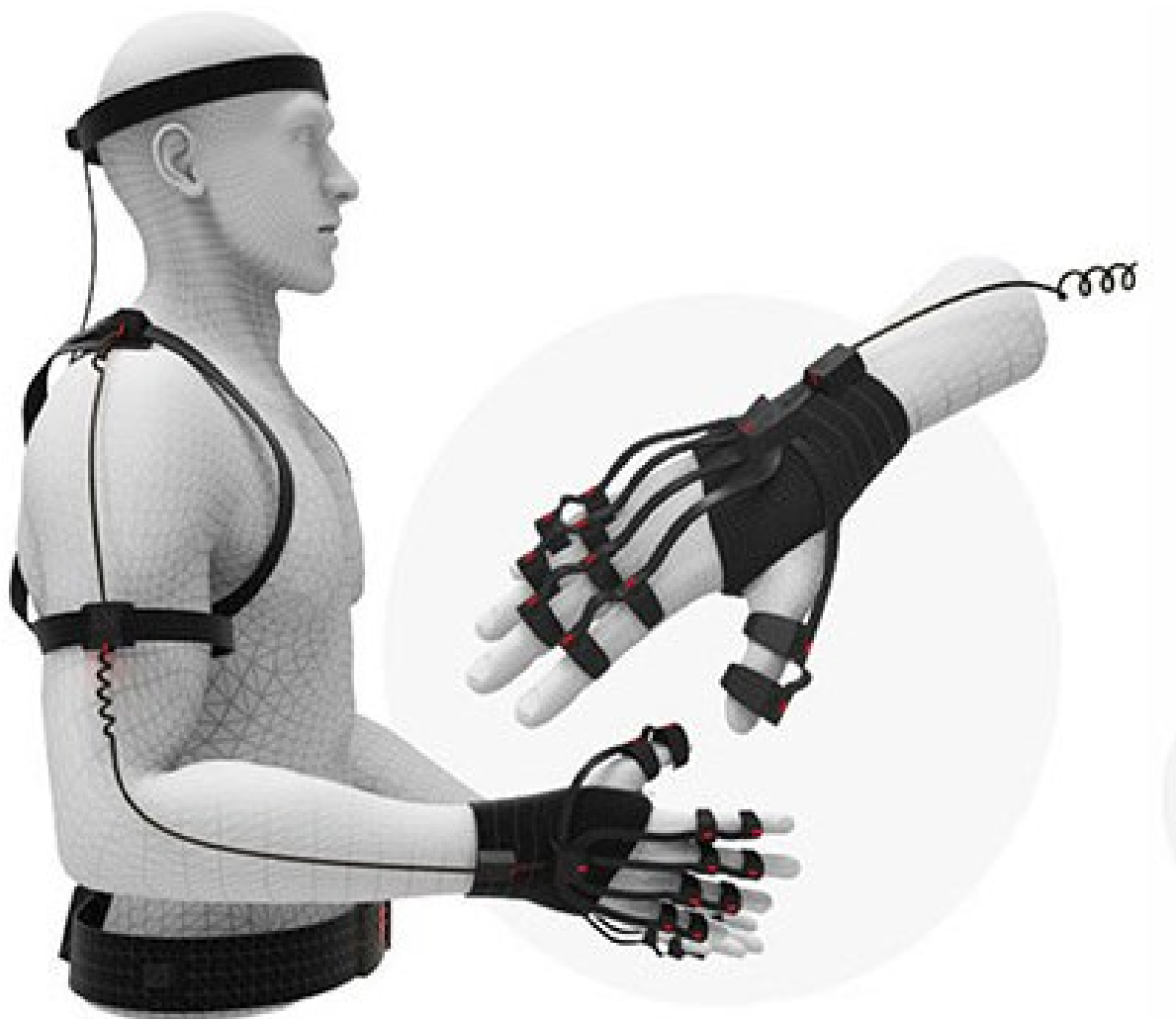


**Slika 17. Kabel za vanjsku bateriju (crveno) i kabel za direktno spajanje (crno) [16]**  
Slika 18. prikazuje smještaj dijelova uređaja na čitavom tijelu.

Slika 19. prikazuje smještaj dijelova opreme na gornjem dijelu tijela.



Slika 18. Perception Neuron dijelovi na čitavom tijelu [20]



Slika 19. Perception Neuron dijelovi – gornji dio tijela [20]

#### 4.2. Povezivanje uređaja Perception Neuron s računalom

Sustav Perception Neuron sastoji se od malih i laganih individualnih senzora – Neurona, kojih ovisno o konfiguraciji može biti do 32. Njihovim povezivanjem moguće je pratiti pokrete prstiju, ruku, nogu, glave u bilo kojoj kombinaciji ili ih povezati sve odjednom i tako imati detekciju pokreta za cijelo tijelo.

Neuron je inercijska mjerna jedinica (engl. *Inertial Measurement Unit - IMU*) tj. jedinica (jedinka) za mjerenje inercije, koja se sastoji od giroskopa, akcelerometra i magnetometra.

Tok podataka usmjeren je na konzentator (Slika 20.) koji služi kao sredstvo koje usredotočuje podatke između opreme i računala. Podaci se mogu prenijeti s konzentatora 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 računalom, potrebno je koncentrador priključiti na USB vanjsku bateriju.



**Slika 20. Koncentrador [16]**

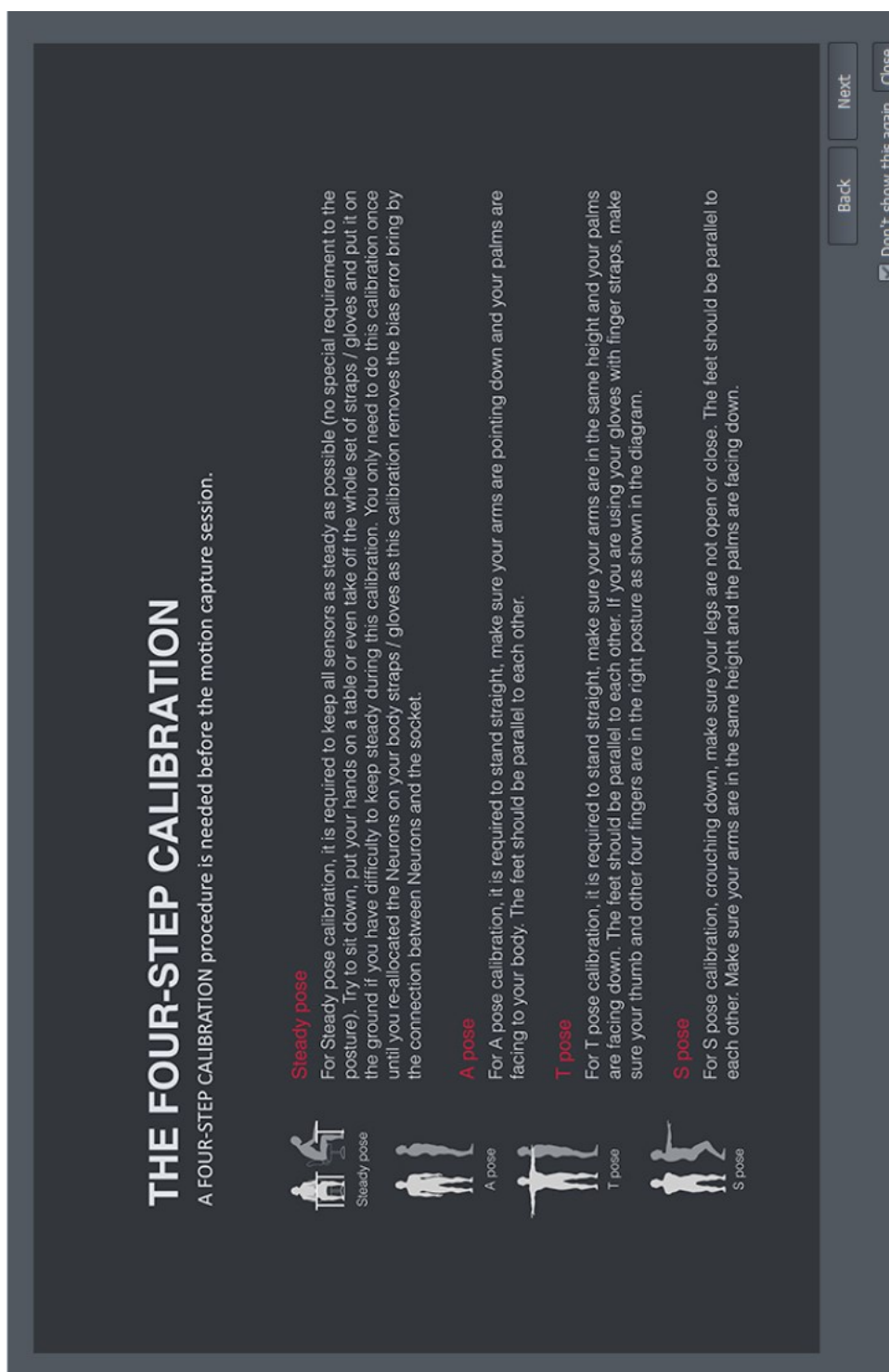
Spajanjem Perception Neurona preko koncentratora s računalom, opremom prikupljeni podaci o kretanju prenose se na računalo. Ovisno o broju priključenih Neurona raste i složenost detekcije pokreta.

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.

Kako bi se obavila kalibracija senzora, korisnik treba pokrenuti program Axis Neuron. Kalibracija se vrši zauzimanjem određenih poza poput čučnja ili stajanja s raširenim rukama. Slika 21. prikazuje četiri kalibracijske pozicije.

U sustav su ugrađeni algoritmi za povezivanje ugrađenih podataka, dinamiku ljudskog tijela i fizike, koji omogućuju glatko i točno kretanje s minimalnom latencijom [16].

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.



Slika 21. Kalibracija senzora [22]

Perception Neuron kompatibilan je s brojnim programima: Maya, 3DSMax, Unigine, C/C++, Oculus, Unity, Unreal Engine, Blender i dr.

### 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.

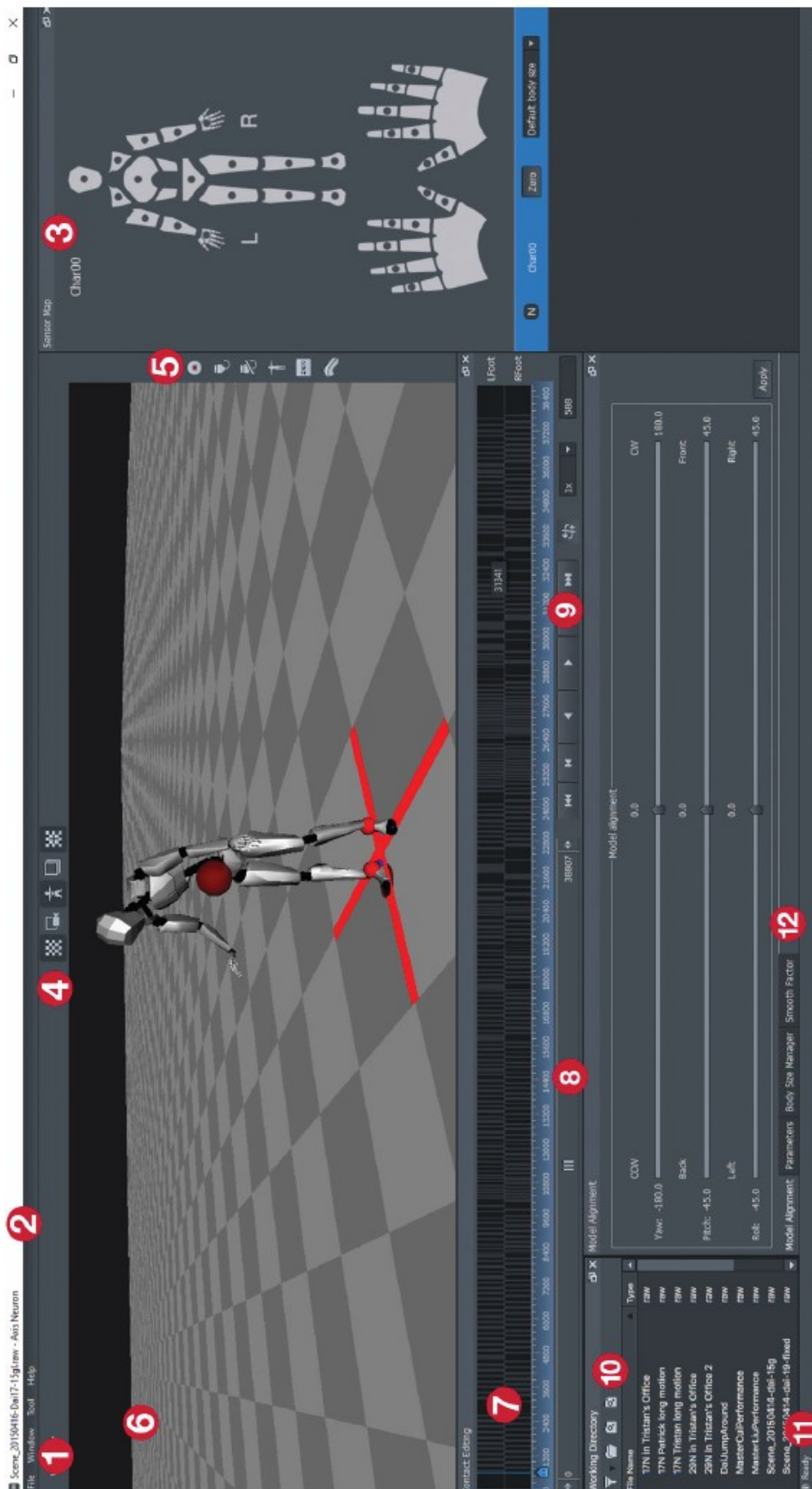
Axis Neuron može izvoziti podatke u BVH (engl. *BioVision Hierarchical data*) i FBX (engl. *Filmbox*) formatu. Sve softverske aplikacije sposobne čitati ove vrste datoteka mogu koristiti podatke snimanja pokreta snimljene putem Perception Neurona. Također, program je besplatan i dostupan svima [28].

#### 4.3.1. Korisničko sučelje

Slika 22. prikazuje korisničko sučelje programa Axis Neuron.

Elementi sučelja jesu:

1. **Traka izbornika** - Pristup datotekama, prozorima, alatima i pomoći.
2. **Naslov** - Naziv trenutno aktivne datoteke.
3. **Mapa senzora** - Prikazuje jačinu signala za prijenos podataka između senzora.
4. **Navigacija scenskim prikazom** - Uključivanje / isključivanje prikaza mreže, težišta, sjene.
5. **Traka za snimanje pokreta** - Snimanje, povezivanje, prekid veze, kalibracija.
6. **Vidokrug** - Podaci o reprodukciji ili pokretu uživo.
7. **Uređivanje kontakata** - Alati za čišćenje kontaktnih točaka.
8. **Postavke raspona** - Postavljanje raspona okvira animacije.
9. **Traka za upravljanje snimkama** - Upravljanje snimkama.
10. **Radni direktorij** - Prikazuje popis snimljenih datoteka iz mape koju je odredio korisnik.
11. **Traka statusa** - Prikazuje status opreme.
12. **Ploča za uređivanje** - Ploča s parametrima i drugim funkcionalnim postavkama.

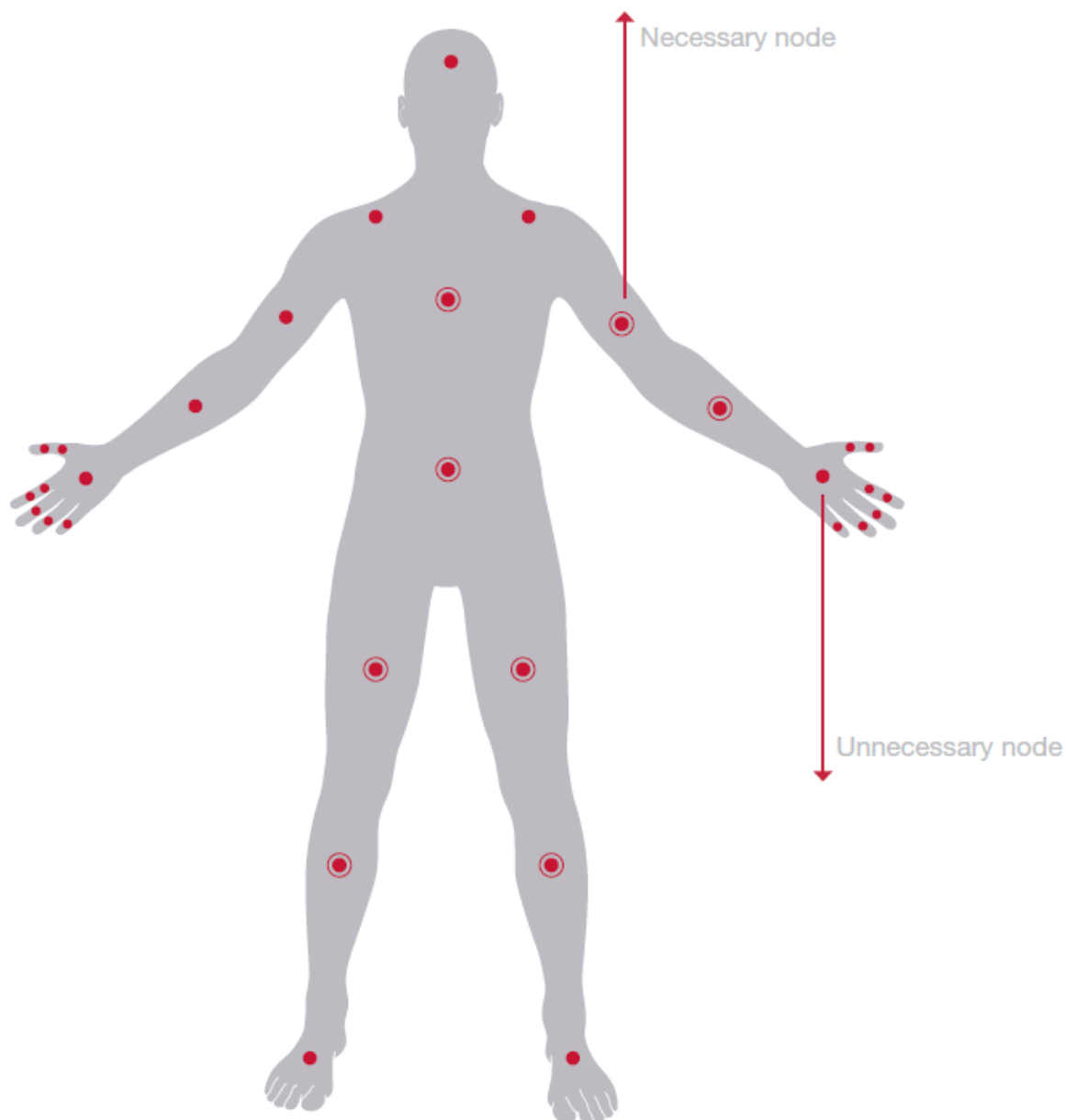


Slika 22. Korisničko sučelje programa Axis Neuron [22]

#### 4.4. Načini rada opreme

Oprema Perception Neuron ima mogućnost rada na četiri različita načina [23].

Za sva četiri načina moguće je snimanje pokreta samo s nužnim senzorima ukoliko nije potrebna visoka kvaliteta snimanja. Slika 23. prikazuje nužne i dodatne senzore. Nužni senzori prikazani su opisanim crvenim točkama, dok su dodatni senzori prikazani crvenim točkama.


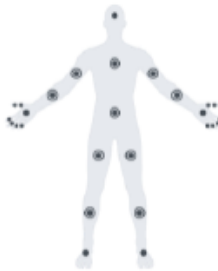




Slika 23. Nužni i dodatni senzori [22]

#### 4.4.1. Način rada: Cijelo tijelo

Potrebni su senzori na obje ruke, na nadlaktici i podlaktici, u području kuka, na kralježnici te na gornjem i donjem dijelu obiju nogu. Tablica 1. prikazuje različite mogućnosti spajanja senzora načinom rada s cijelim tijelom.

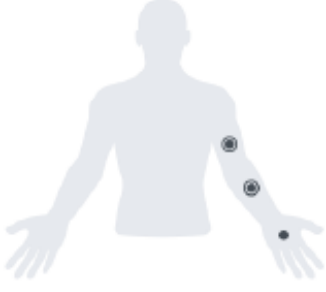
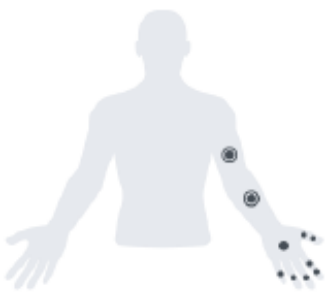


**Tablica 1. Spajanje senzora načinom rada s cijelim tijelom [23]**

Full body	17-Neurons Hub USB cable Body straps Gloves	
Full body (Double hands and fingers)	31-Neurons Hub USB cable Body straps Gloves	
Full body (one hand, all fingers)	21-Neurons Hub USB cable Body straps Gloves	
Full body (no palm)	11-Neuron Hub USB cable Body straps Gloves	

#### 4.4.2. Način rada: Jedna ruka

Za rad s jednom rukom potrebni su senzori na gornjem i donjem dijelu ruke. Tablica 2. prikazuje različite mogućnosti spajanja senzora načinom rada s jednom rukom.





Tablica 2. Spajanje senzora načinom rada s jednom rukom [23]

Single arm	3-Neurons Hub USB cable Dual pogo-pin cable/Body straps Gloves	
Single arm	10-Neurons Hub USB cable Dual pogo-pin cable/Body straps Gloves	
Single arm	9-Neurons Hub USB cable Dual pogo-pin cable /Body straps Gloves	
Single arm	6-Neurons Hub USB cable Dual pogo-pin cable /Body straps Gloves	

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

Za rad s gornjim dijelom tijela potrebni su senzori na gornjem i donjem dijelu obje ruku, na području kuka te kralježnice. Tablica 3. prikazuje različite mogućnosti spajanja senzora načinom rada s gornjim dijelom tijela.

Tablica 3. Spajanje senzora načinom rada s gornjim dijelom tijela [23]



Upper body	11-Neurons Hub USB cable Body straps	
Upper body (all fingers)	25-Neurons Hub USB cable Body straps Gloves	
Upper body	21-Neurons Hub USB cable Body straps Gloves	
Upper body	6-Neurons Hub USB cable Body straps Gloves	



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

Za rad s donjim dijelom tijela potrebni su senzori u području kuka te u gornjem i donjem dijelu obiju nogu. Tablica 4. prikazuje različite mogućnosti spajanja senzora načinom rada s donjim dijelom tijela.

**Tablica 4. Spajanje senzora načinom rada s donjim dijelom tijela [23]**

<b>Lower body</b>	7-Neuron Hub USB cable Body straps	
<b>Lower body</b>	5-Neuron Hub USB cable Body straps	

## 5. PRIMJENA UREĐAJA PERCEPTION NEURON 2.0

Sustav snimanja pokreta može se koristiti za pronalaženje i sprječavanje ozljeda, poboljšanje performansi u biomehanici, snimanju filmova, stvaranju videoigara, kao pomoć inženjerima u izgradnji boljih proizvoda i povećanju učinkovitosti proizvodnje.

### 5.1. Raznolikost primjene opreme

#### Humanoidni roboti

Snimanjem pokreta ljudskog tijela u svrhu shvaćanja biomehanike na primjeru hvatanja nekoliko različitih predmeta. Sveučilišta diljem svijeta koriste tehnologiju snimanja pokreta u svrhu prenošenja ponašanja ljudi na humanoide. Smatra se da, kako bi roboti bili uspješni u ljudskom okruženju, moraju posjedovati slične osobine.

#### Građevinski radovi

U svrhu poboljšanja zdravstvene i sigurnosne prakse u građevinskoj industriji, snimanjem pokreta moguće je ustanoviti neprimjereno i netočno rukovanje radnim alatima i pomagalicama, neprimjereno kretanje po gradilištu, te na taj način spriječiti moguće posljedice i potencijalno unaprijediti samo izvođenje radova.

#### Razvijanje videoigara

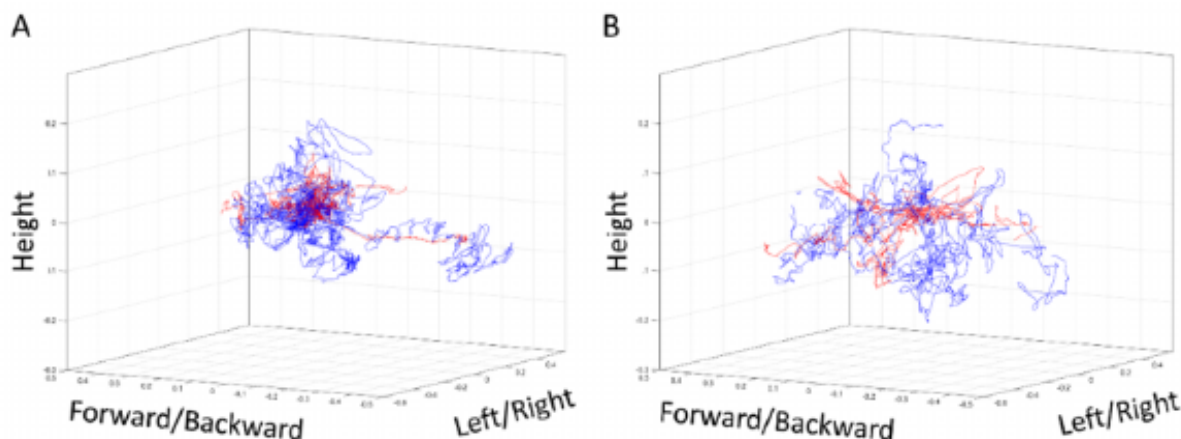
Jedno od najbrže rastućih područja današnjice su svakako videoigre. Snimanjem pokreta u kombinaciji s programima za razvoj igara, moguće je razviti videoigre namijenjene za raznoliku publiku.

### 5.2. Simulacija i trening kirurške operacije

Simulacijske metode pomažu u obrazovanju kirurških pripravnika, stoga se usredotočuje na razvoj sustava koji pomažu polaznicima usvojiti najučinkovitije pokrete tijela.

Prva studija [24] koja je koristila Perception Neuron sustav za procjenu odnosa između kretnji tijela i rezultata simulacije provedena je u Nacionalnoj sveučilišnoj bolnici u Seulu. Sudjelovalo je deset studenata medicine. Svi su izvršili dva standardna zadatka s da

Vincijevim simulatorom<sup>1</sup> (engl. *da Vinci Skills Simulator – dVSS*) i pet standardnih zadataka s modelom treninga za tireoidektomiju<sup>2</sup>. Trening tireoidektomije proveden je dok su sudionici nosili Perception Neuron. Ocjena snimanja pokreta pokazivala je koliko je vremena potrebno za izvršavanje zadataka i izračunata je ekonomičnost kretanja svakog sudionika. Slika 24. prikazuje usporedbu ukupnih rezultata ekonomičnosti pokreta.



**Slika 24. Razlike u stvarnim pokretima tijela između niskih (A) i visokih (B) ukupnih rezultata [24]**

Stvarna putanja desne (plavo) i lijeve (crveno) ruke sudionika koji su imali (A) nižu ili (B) visoku ukupnu ekonomičnost pokreta. Ukupna ekonomičnost mjerena je zbrajanjem rezultata svih zadataka.

Studija je pokazala da su pokreti sudionika tijekom treninga temeljenog na simulaciji bili jednako važni kao i sam trening. Trenutačno istraživanje medicinskog obrazovanja u velikoj mjeri zanemaruje važnost podučavanja polaznika ispravnom kretanju; umjesto toga, uvelike se fokusira na učinkovitost novih obrazovnih metoda, što se odražava i na rezultate vježbi. Vjerojatno će se u budućnosti obrazovna paradigma proširiti na obrazovanje o ispravnim pokretima tijela [24].

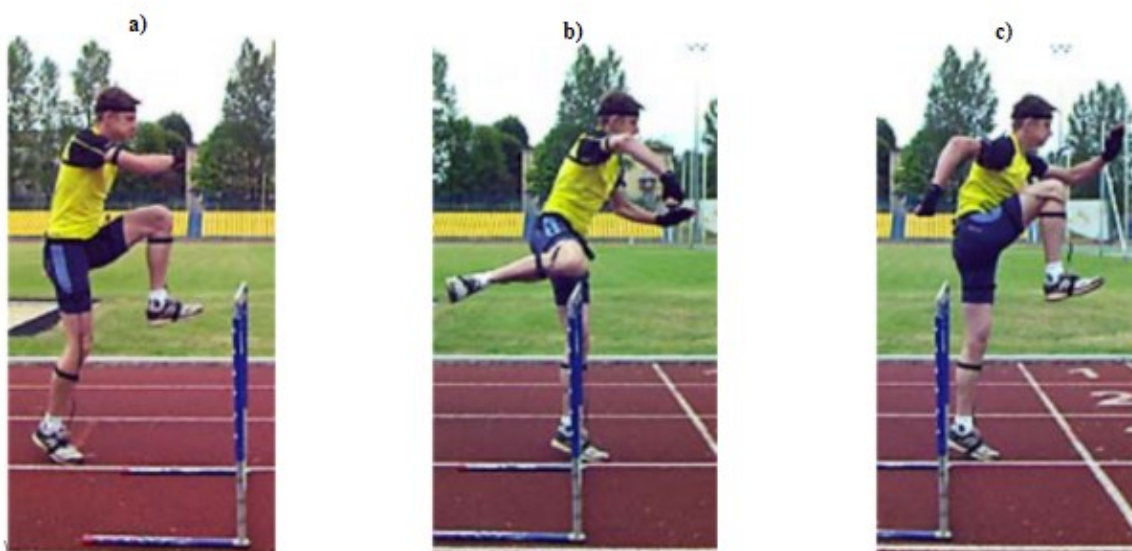
### 5.3. Snimanje ljudskog kretanja za procjenu kinematičkih parametara specifičnih pokreta na 400 metara s preponama

Utrka na 400 metara s preponama zahtjevna je disciplina u kojoj je tehnika preskakanja prepone od presudne važnosti. U ovom radu analizirali su se preskoci preko prepona tijekom

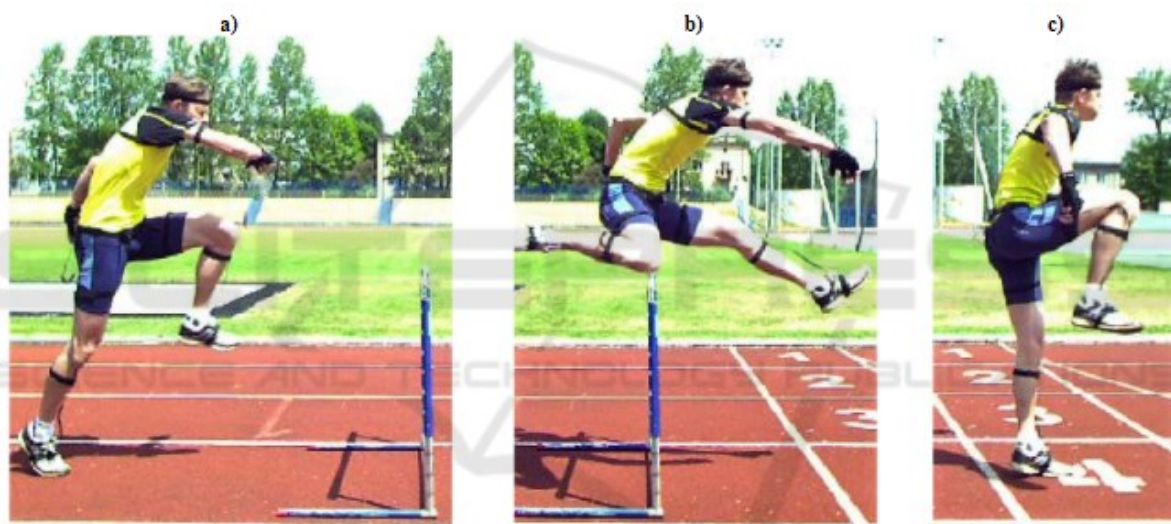
<sup>1</sup> da Vinci Skills Simulator - simulator koji sadrži razne vježbe i scenarije posebno osmišljene za kirurge [27].

<sup>2</sup> Tireoidektomija - djelomično ili potpuno uklanjanje štitnjače.

izvođenja dviju posebnih vježbi, marširanja i trčanja. Slika 25. prikazuje tri karakteristične pozicije za svladavanje prepone u maršu, u kojima su se analizirali podaci. Slika 26. također prikazuje tri karakteristične pozicije važne za analizu podataka, no vezane uz svladavanje prepone u trku.



**Slika 25. Svladavanje prepone u maršu [25]**



**Slika 26. Svladavanje prepone u trku [25]**

U analizi su sudjelovala dva profesionalna trkača na 400 metara s preponama koja su se natjecala na svjetskim i europskim prvenstvima te na olimpijskim igrama. Obojica sportaša istakli su lijevu nogu kao svoju "jaču" vodeću nogu (onu koju češće koriste za preskakanje tijekom utrke). Tablica 5. prikazuje osnovne karakteristike sportaša.

Tablica 5. Karakteristike trkača [25]

	Starost, godina	Visina, cm	Masa, kg	Godine bavljenja disciplinom	Najbolji rezultat na 400 m s preponama, sekunda	Jača (vodeća) noga
Trkač 1	26	181	73	10	51,00	Lijeva
Trkač 2	28	185	80	15	50,84	

Analiza je uključivala kretanje donjih ekstremiteta, odnosno bedra i potkoljenice, brzinu točke određenu mjestom zgloba koljena i kutom savijanja.

Rezultati analize jesu kako slijedi [25].

Analiza kuta savijanja zgloba koljena pokazala je značajne razlike između "jače" i "slabije" noge samo u slučaju prateće noge. Analiza nije otkrila razlike između savijanja koljena vodeće noge u slučaju kretanja izvedenih lijevom i desnom nogom (i tijekom marširanja i tijekom trčanja).

Kretnjama izvedenih tijekom marširanja, pokret bedra "slabije" noge započeo je ispred u odnosu na pokret koji se izvodi s "jače" vodeće noge. Prepona je svladana s veće udaljenosti i pokret je završio bliže preponi. To se odnosilo na oba sportaša. Prilikom marširanja preko prepone, potkoljenica "jače" noge imala je elegantnije kretanje, dok je kretanje "slabije" noge bilo nezgrapnije. Isti su rezultati dobiveni i promjenom vodeće i prateće noge.

Kretnjama izvedenih tijekom trčanja, savladavanje prepone bilo je vrlo raznoliko i individualno. U slučaju Trkača 1, pokret izveden "jačom" nogom dogodio se ranije nego pokret "slabijom" nogom. U slučaju Trkača 2, situacija je bila obrnuta. Profili kretanja za oba sportaša bili su neusporedivi, što je ukazivalo na individualnu prirodu tehnike preskakanja prepona od strane najboljih sportaša. Analiza brzine zgloba koljena nije pokazala značajne razlike između kretanja izvedenih sa "jačom" i "slabijom" nogom.

Zaključci nakon analize rezultata jesu [25]:

1. Tijekom vježbi s preponama, kut savijanja zgloba koljena bio je značajan u svladavanju prepone pomoću "jače" i "slabije" prateće noge. Takve razlike nisu uočene u slučaju vodeće noge.

2. Dobivene brzine zglobova koljena ne mogu se razlikovati između vježbi (marširanje i trčanje) koje se izvode s bilo kojom nogom.
3. Procjena tehnike izvođenja specifičnih vježbi odnosi se na prostorne (kut savijanja zgloba koljena), a ne vremenske (u ovom slučaju brzina koljena) parametre.
4. Putanja kretanja nogu za marširanje i trčanje bila je potpuno drugačija. S obzirom na gore navedeno, korištenje oba oblika vježbi za svladavanje prepone, različitog su značaja u organizaciji treninga.

Ipak, predstavljeni rad ima potencijalna ograničenja. Ograničenja studije povezana su s brojem sportaša. Zaključci koji se izvode mogu biti potencijalno ograničeni zbog malog uzorka sportaša u studiji te malog uzorka vježbi koje se izvodilo. Ostala ograničenja odnose se na Perception Neuron opremu. Naime senzori postavljeni na tijelo sportaša mogu se lagano pomicati, što utječe na točnost mjerenja.

## 6. POKUSI UREĐAJEM PERCEPTION NEURON 2.0

U pokusima, analizirat će se pokreti i podaci o pokretima, prikazani u programu Axis Neuron (Slika 27.).

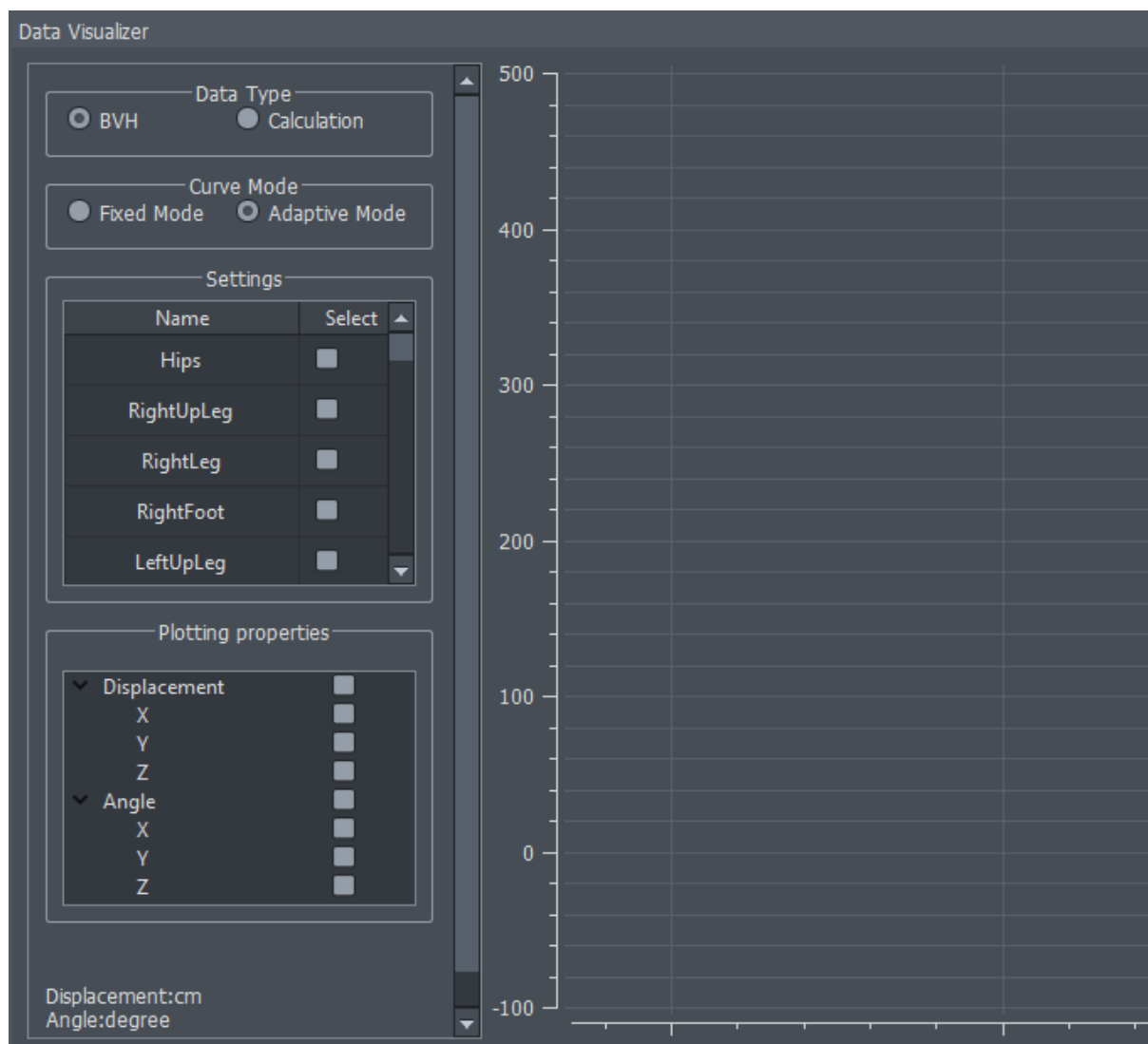
U programu je moguće odabrati:

- tip podataka u kojem će se prikazivati snimani pokreti
- način prikaza krivulje kojom će se rezultati prikazivati u dijagramu, za dio tijela koji se analizira
- svojstva kretnji (npr. translacija, rotacija, akceleracija) koja će se bilježiti.

Tijekom pokusa uglavnom će se koristiti način rada s jednom rukom, no prikazat će se i način rada s cijelim tijelom s dodatnim senzorom.

Zbog prikazivanja cjelovitog toka podataka u konciznom broju slika, prikazanih u dijagramu programa Axis Neuron, u opisu pokusa će se prikazati slike gdje su vidljive promjene podataka uzrokovane promjenom kretnji promatranog dijela tijela, te će se tekstom opisati što se događa tijekom pokusa.

Izvedeno je 30-ak pokusa od kojih su najzanimljiviji prikazani u nastavku.

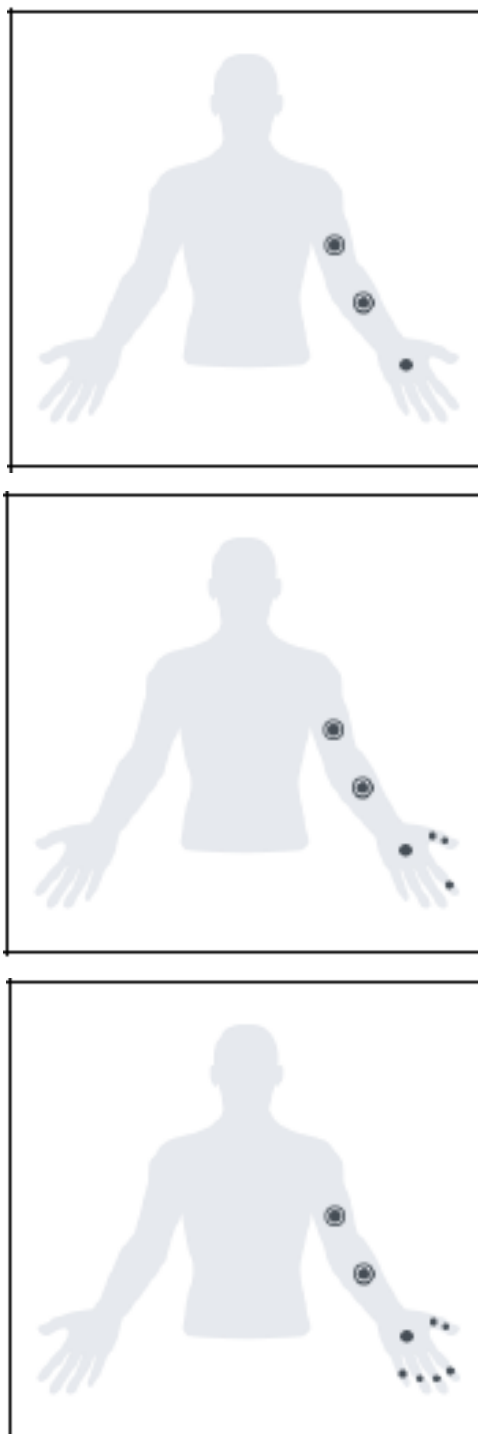


Slika 27. Prikaz podataka o pokretima – program Axis Neuron

### 6.1. Pokusi izvođeni jednom rukom

Način rada kod izvođenja pokusa biti će jedna ruka. U ovom slučaju koristit će se lijeva ruka s različitim brojem povezanih senzora. U nastavku će se prikazati pokusi izvođeni korištenjem tri, šest i devet međusobno povezanih senzora. Slika 28. prikazuje različiti broj povezanih senzora i njihovu lokaciju na ruci.





Slika 28. Tri, šest i devet međusobno povezana senzora i lokacija svakoga senzora na ruci [23]

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

Načinom rada s jednom rukom s trima povezanim sensorima, moguće je pratiti kretanje ruke u području nadlaktice i podlaktice, a pomicanje prstiju nije moguće pratiti.

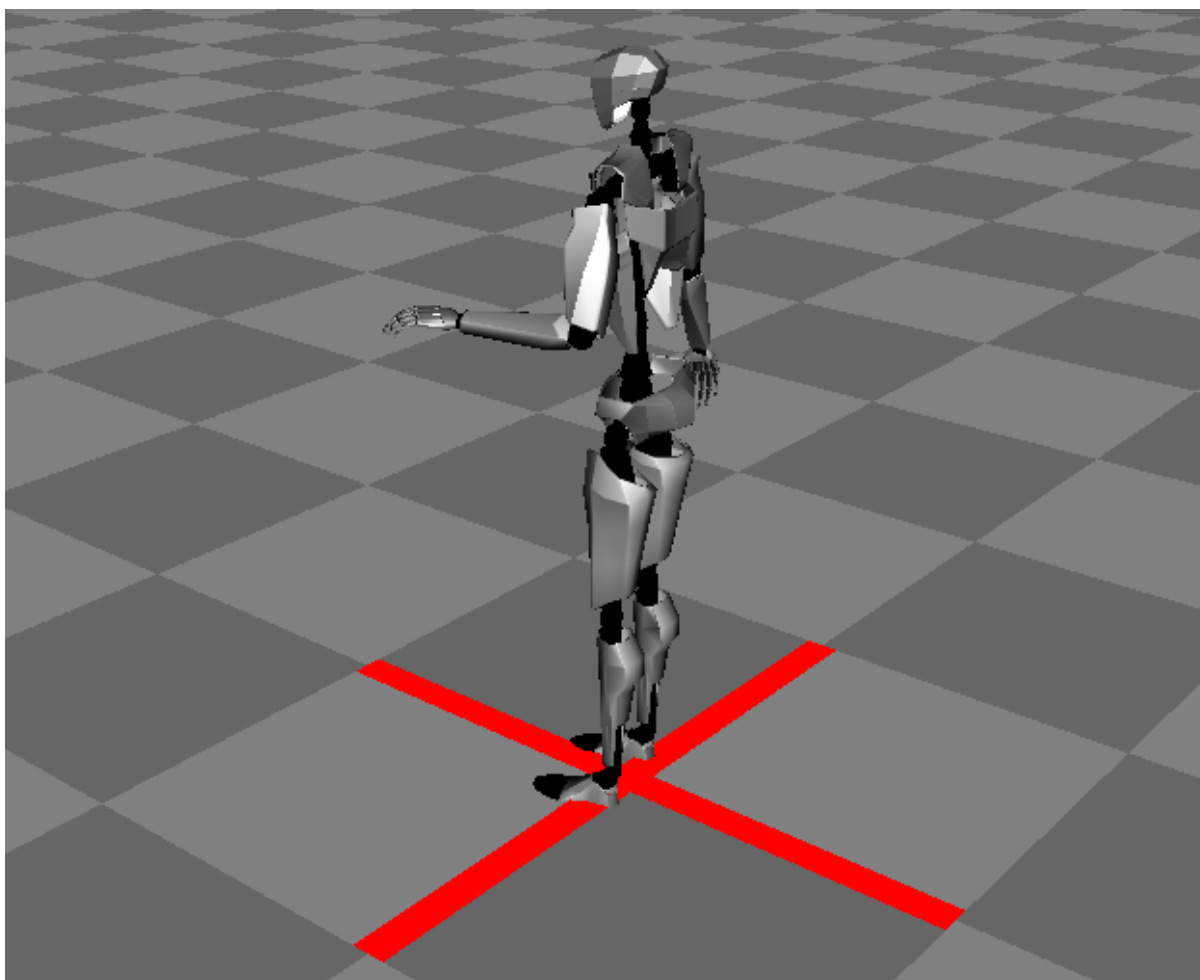
Izvest će se pokusi:

- klizanje dlana po stolu (ravnoj površini), pri čemu su kretnje dlana naprijed–natrag
- klizanje dlana po stolu (ravnoj površini), pri čemu su kretnje dlana desno–lijevo
- dizanje dlana (sa stola) vertikalno uvis s povratkom nadolje.

Promatrat će se translacije uzduž koordinatnih osi  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ , gdje je os  $Z$  okomita os. Podaci o translacijama će se prikazivati dijagramski u programu Axis Neuron.

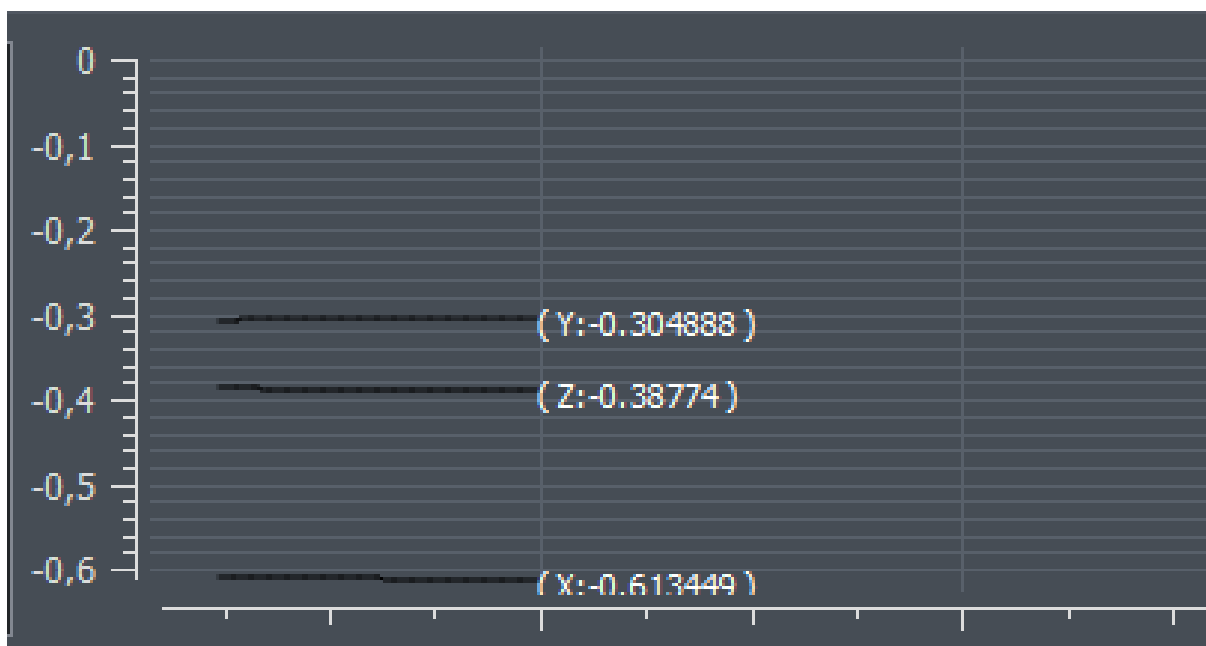
Slika 29. prikazuje početni položaj virtualnog tijela na početku pokusa u programu Axis Neuron.

Pokus se izvodio u *sjedećem* položaju, no zbog korištenja načina rada s jednom rukom ostatak tijela prikazuje se u *stojećem* položaju i pozicija mu ostaje nepromijenjena tijekom pokusa. Tijekom izvođenja kretnji jedino se lijeva ruka pomiče te je stoga jedino mjerodavno proučavati podatke vezane uz kretanje dijelova lijeve ruke. Ukupno trajanje pojedinog pokusa iznosi 20 sekundi te se u tom vremenu izvedu tri ponavljanja pokreta.



**Slika 29. Pokus pomicanja dlana naprijed–natrag: početni položaj virtualnog tijela**

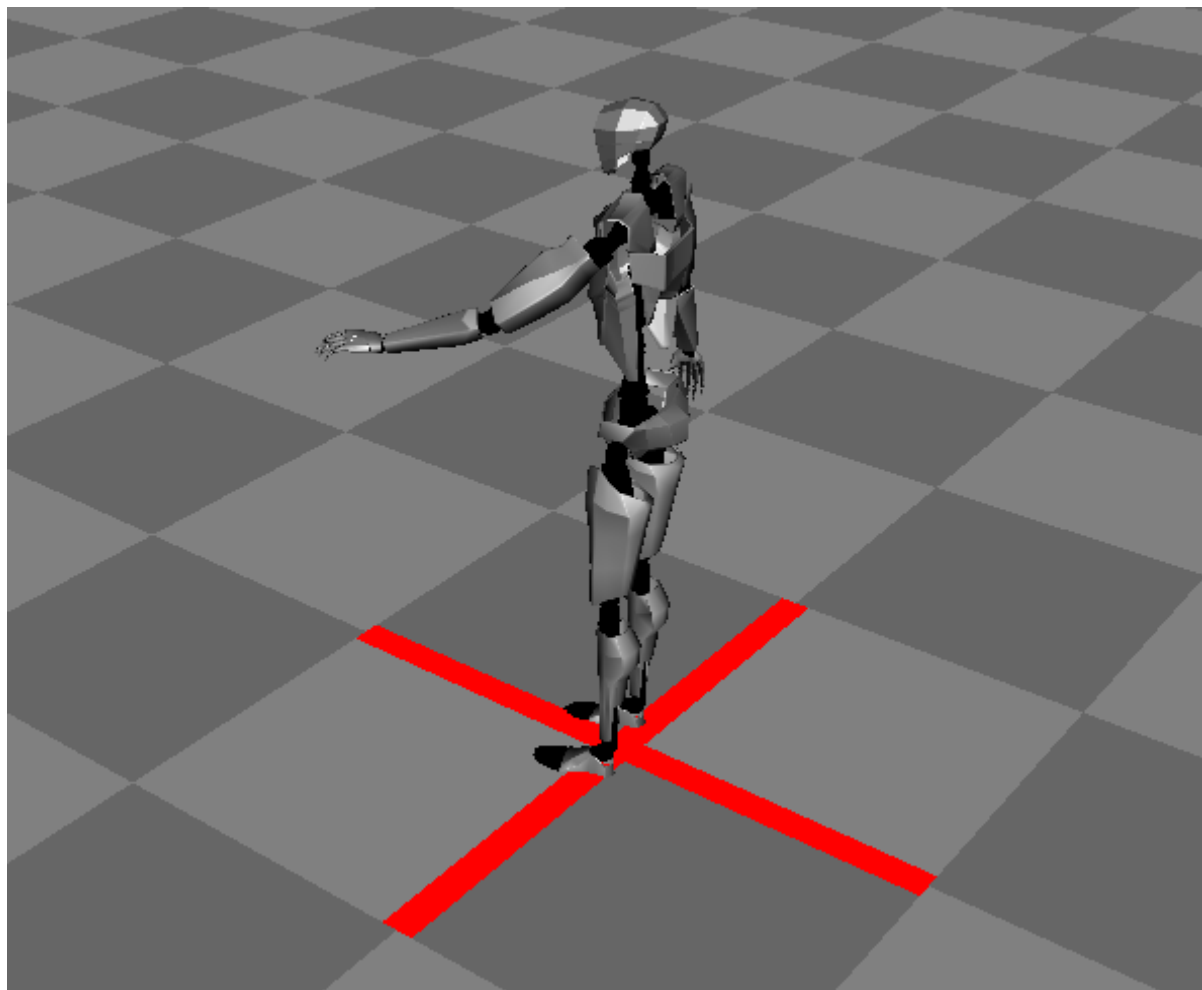
Slika 30. prikazuje podatke o položaju dlana na samome početku pokusa. Horizontalna os dijagrama predstavlja vrijeme u sekundama, dok vertikalna os predstavlja poziciju u prostoru, izraženu u metrima, za svaku od triju osi.



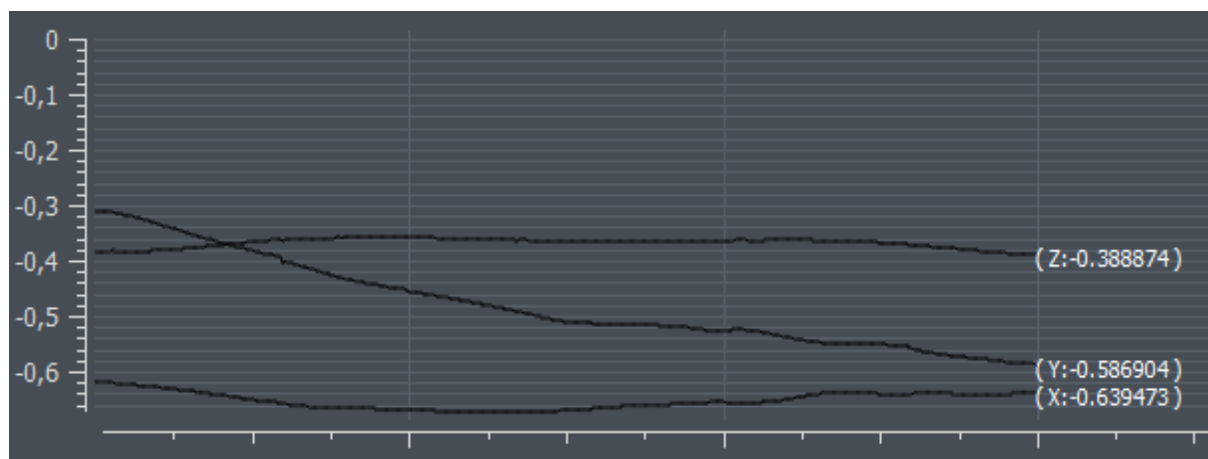
**Slika 30. Pokus pomicanja dlana naprijed–natrag: prikaz početnih podataka pomaka dlana (u metrima)**

Slika 31. prikazuje krajnji položaj dlana virtualnog tijela u pokusu klizanja dlana po stolu.

Slika 32. prikazuje podatke pomaka lijevog dlana unaprijed. Pomicanjem dlana unaprijed, program Axis Neuron bilježi kretanje lijevog dlana u negativnom smjeru osi *Y*.



Slika 31. Pokus pomicanja dlana naprijed–natrag: krajnji položaj virtualnog tijela



Slika 32. Pokus pomicanja dlana naprijed–natrag: prikaz krajnjih podataka pomaka dlana unaprijed (u metrima)

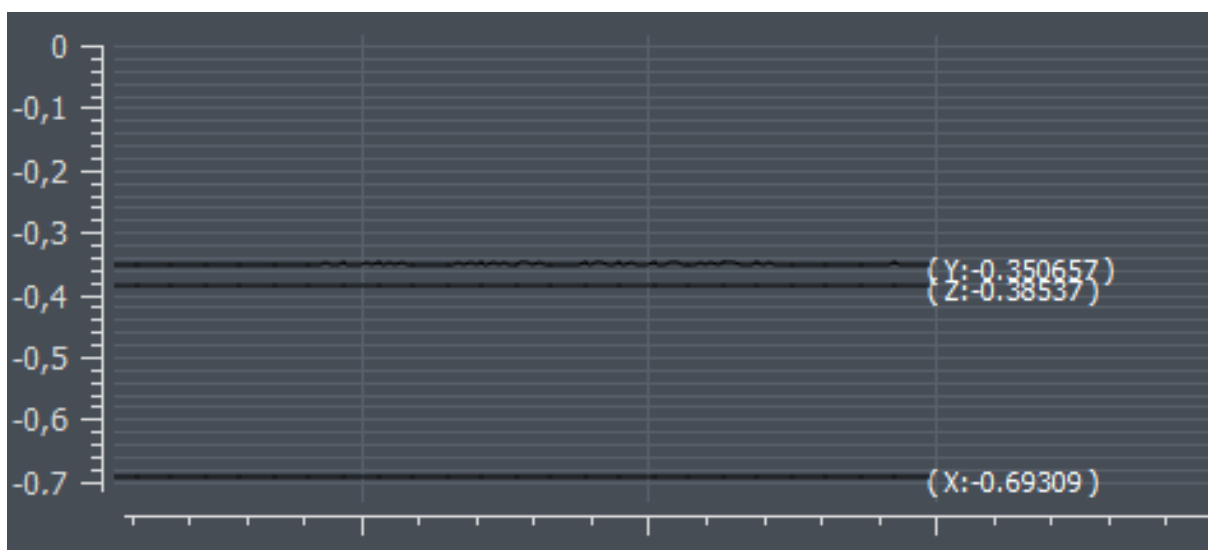
Zaključci nakon pokusa:

Kao što je bilo očekivano, pomicanjem dlana *naprijed–natrag* dolazi do promjene podataka duž osi kojom se odvija kretanje. Usporedbom slike 30. i slike 32. može se primijetiti da je upravo najveća promjena pozicije zabilježena uzduž osi *Y*. **Zbog nemogućnosti pomicanja dlana savršeno usporedno s jednom osi u prostoru**, što zbog ljudskog faktora, što zbog trenja uslijed kontakta između dlana i stola, **dolazi do pomaka i po ostale dvije osi, *X* i *Z***.

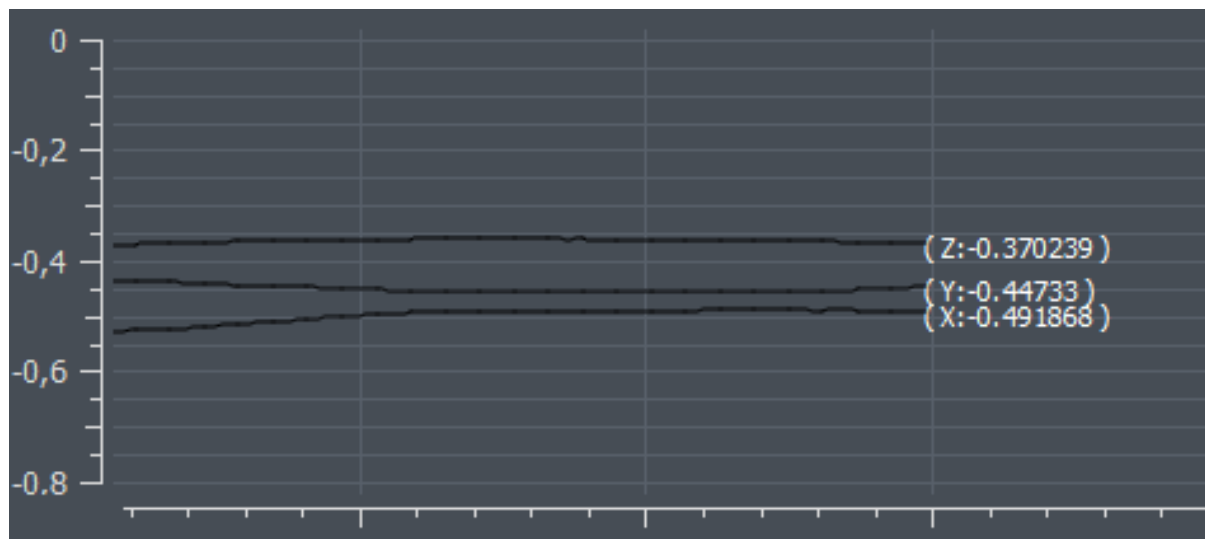
Do jednakog zaključka dolazi se i kod pokusa pomicanja dlana *desno–lijevo* po površini stola. Do najvećeg pomaka dolazi usporedno s osi *X*, no također se uočavaju i blagi pomaci po osima *Y* i *Z* zbog anatomije ljudskog tijela kod ovakve vrste pokreta te trenja između dlana i površine stola. Slika 33. prikazuje početni položaj dlana uzduž osi *X*, *Y* i *Z*.

Slika 34. prikazuje podatke položaja dlana njegovim pomakom udesno po površini stola.

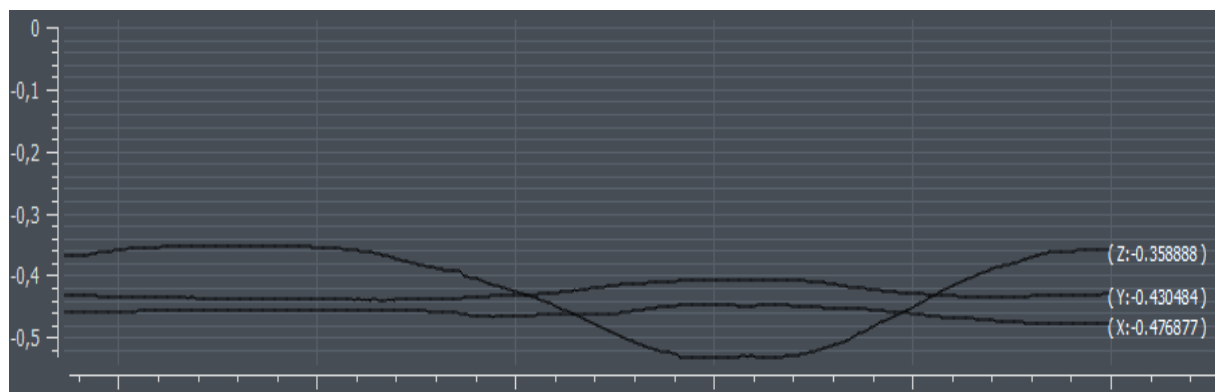
Analogno, u pokusu podizanja dlana uvis, najveći pomaci pojavljuju se duž osi *Z*, dok su uzduž osi *X* i *Y* zamijećeni manji pomaci (Slika 35.).



**Slika 33. Pokus pomicanja dlana desno–lijevo: prikaz početnih podataka pomaka dlana**



Slika 34. Pokus pomicanja dlana desno–lijevo: prikaz krajnjih podataka pomaka dlana udesno

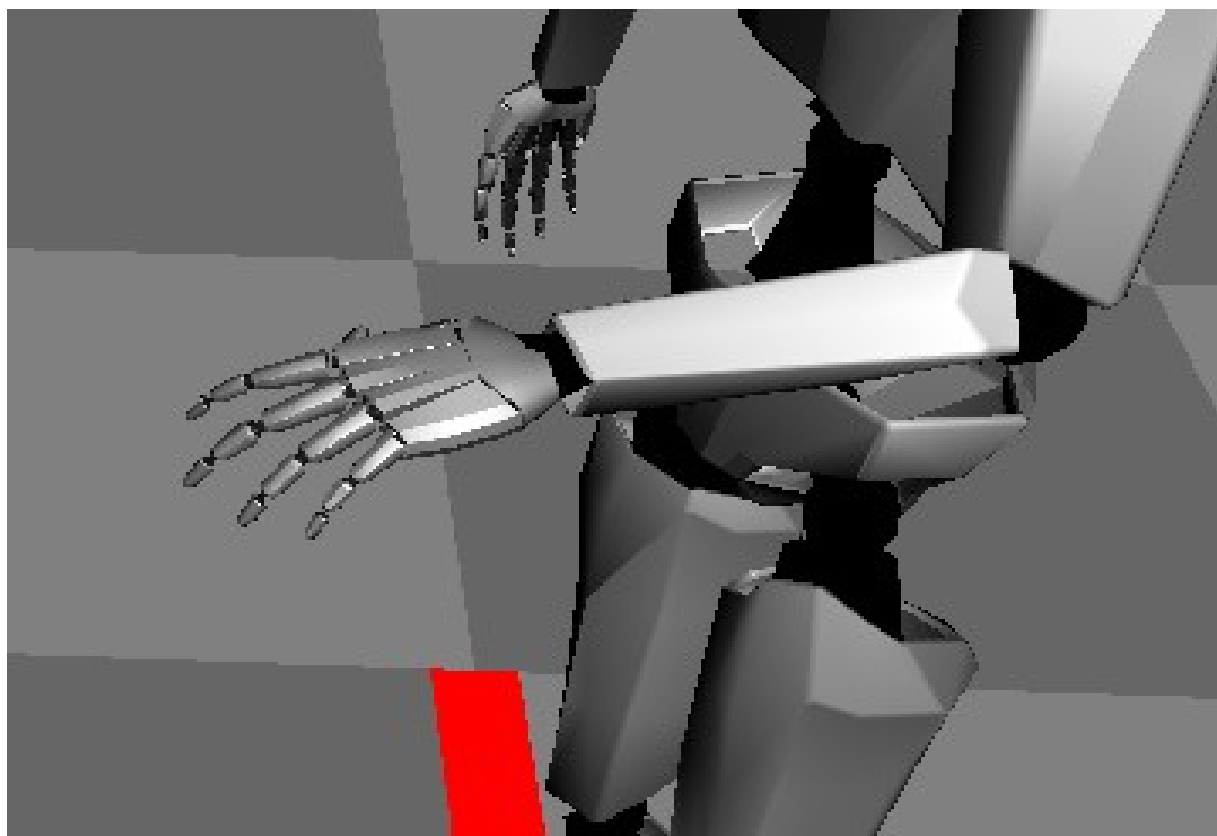


Slika 35. Pokus pomicanja dlana gore–dolje: prikaz podataka pomaka dlana

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

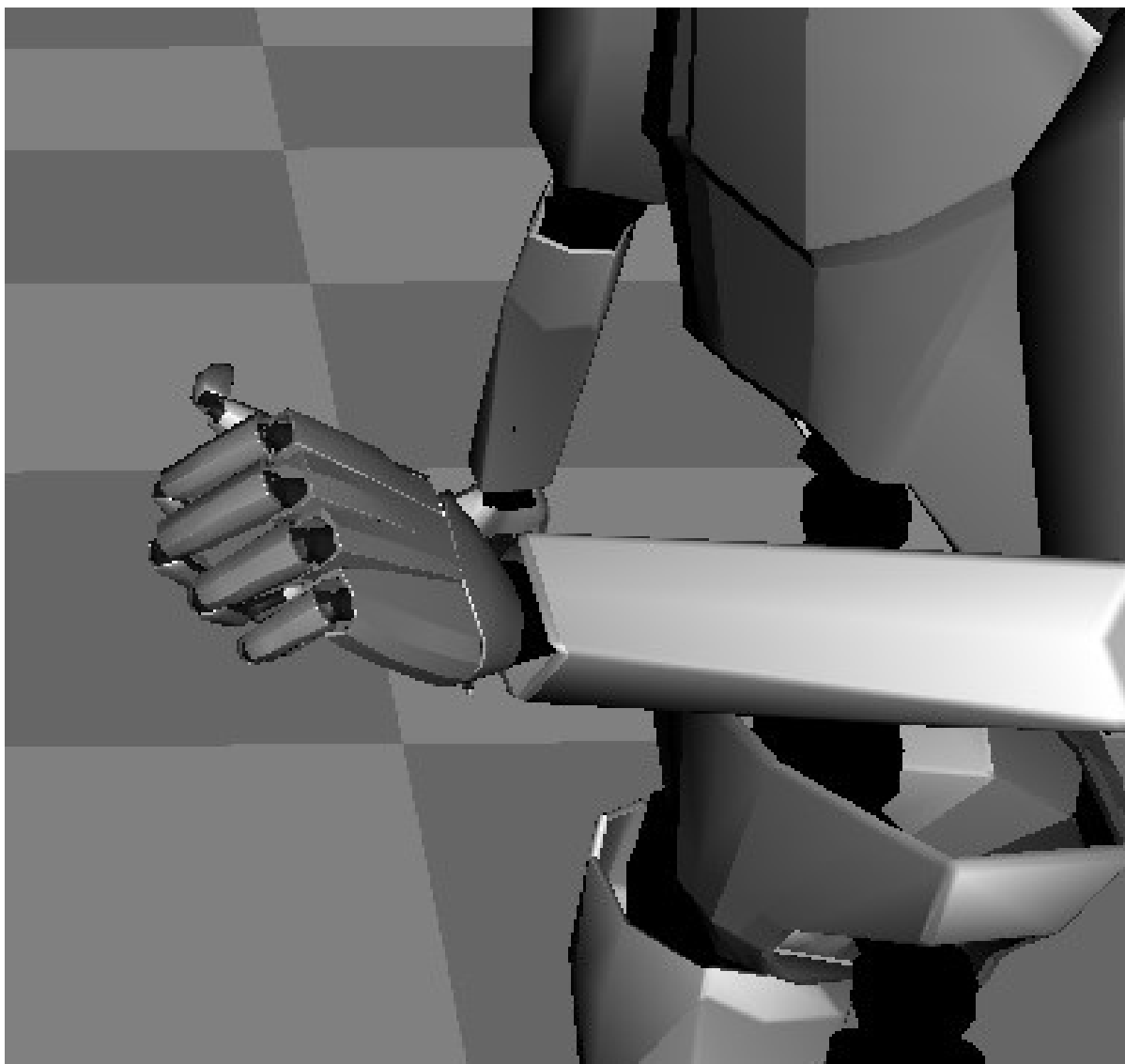
Načinom rada s jednom rukom sa šest povezana senzora, moguće je pratiti kretanje ruke u području nadlaktice i podlaktice, također je moguće pratiti kretanje palca te kažiprsta.

Način rada sa šest senzora omogućuje savijanje srednjaka, prstenjaka i malog prsta samim savijanjem kažiprsta. Stoga će se u ovom pokusu obratiti pažnja upravo na navedeni detalj savijanja kažiprsta lijeve ruke. Prikazat će se promjena kuta savijanja kažiprsta te će se prikazani podaci usporediti s podacima kuta savijanja ostalih povezanih prstiju. Slika 36. prikazuje položaj prstiju na početku pokusa. Pokus se izvodio u *sjedećem* položaju, no zbog korištenja načina rada s jednom rukom ostatak tijela prikazuje se u *stojećem* položaju i pozicija mu ostaje nepromijenjena tijekom pokusa. Ukupno trajanje pokusa je 20 sekundi te se u tom vremenu izvede sedam ponavljanja savijanja kažiprsta. U nastavku će se prikazati dijagram samo dijela pokusa (tri ponavljanja savijanja kažiprsta) u trajanju od osam sekundi.



Slika 36. Početni položaj prstiju

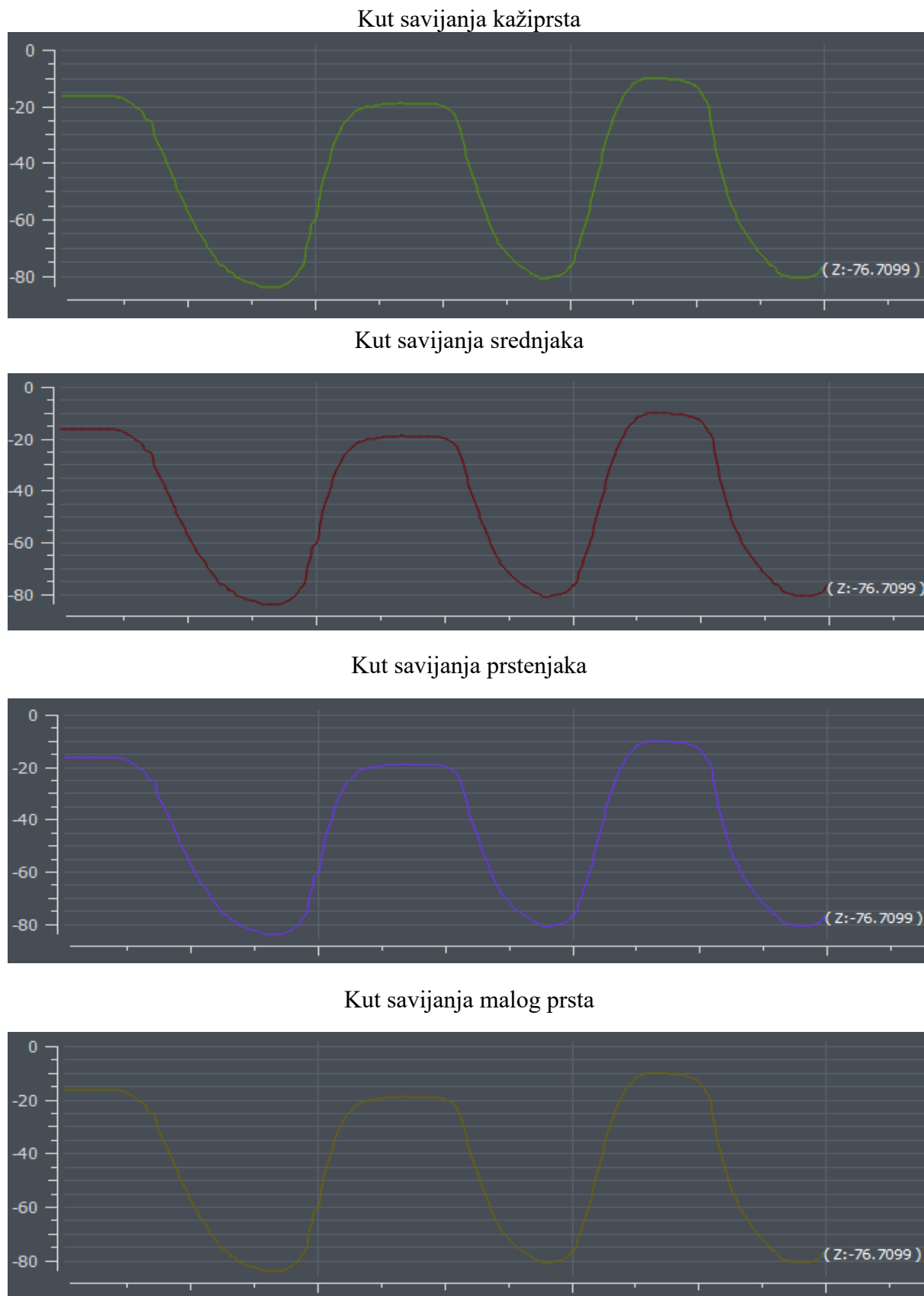
Slika 37. prikazuje položaj prstiju nakon savijanja kažiprsta.



**Slika 37. Sklopljeni položaj prstiju**

Slika 38. prikazuje usporedbu kuta savijanja između kažiprsta, srednjaka, prstenjaka i malog prsta. Dijagram pokazuje kut savijanja pojedinog prsta po osi  $Z$ . Kut se mjeri u stupnjevima. 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.





Slika 38. Usporedba kuta savijanja prstiju – šest senzora

### Zaključci nakon pokusa:

Kao dodatak ovom pokusu analiziralo se savijanje srednjaka, prstenjaka i malog prsta pojedinačno ili zajedno, ne mičući kažiprst, te se pokazalo da se ne događa nikakva promjena ni na virtualnom tijelu niti u dijagramu kuta savijanja.

Zanimljivost ovoga načina rada je što se sa **savijanjem kažiprsta, istovremeno i na isti način, savijaju i srednjak, prstenjak i mali prst**. Navedena zanimljivost proizlazi iz algoritama, uključenih u sustav, za način rada sa šest senzora.

Pokus je pokazao 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**.

#### **6.1.3. Korištenje devet senzora: savijanje kažiprsta lijeve ruke**

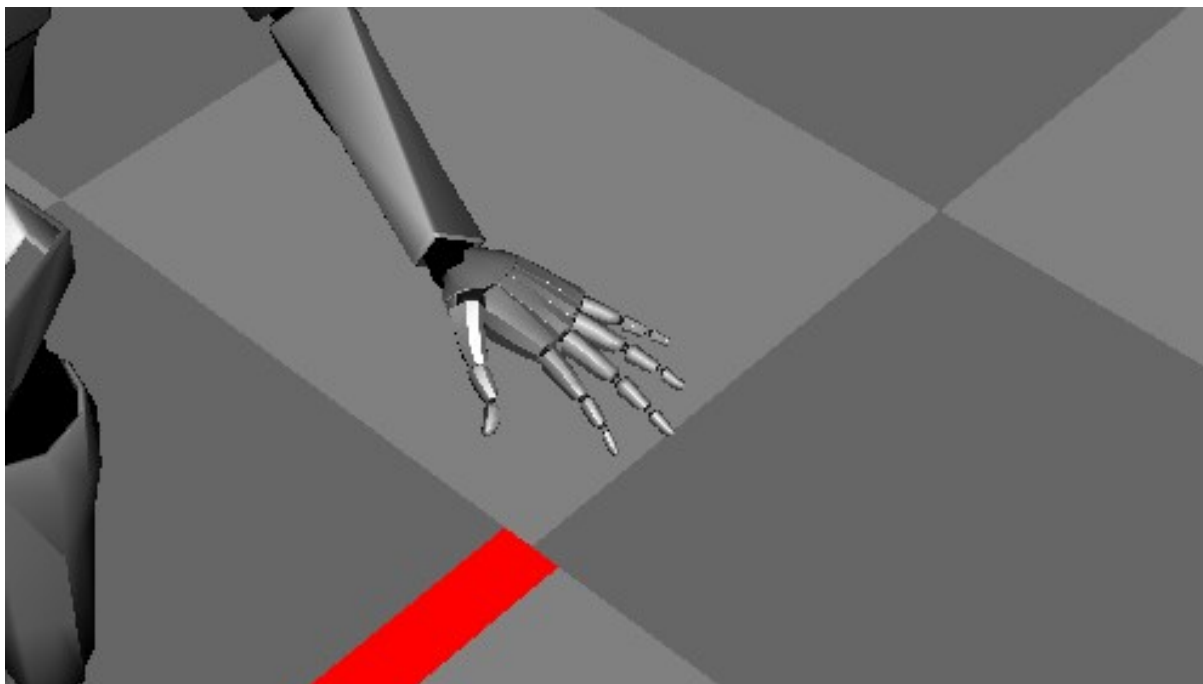
Načinom rada s jednom rukom s devet povezanih senzora, moguće je pratiti kretanje ruke u području nadlaktice, podlaktice te je moguće zasebno praćenje svakoga prsta na ruci.

U sklopu pokusa savijanje kažiprsta lijeve ruke ponovno će se promatrati savijanje kažiprsta lijeve ruke, no ovoga puta koristiti će se način rada s devet senzora.

Promatrat će se kut savijanja kažiprsta te odnos s ostalim prstima na ruci.

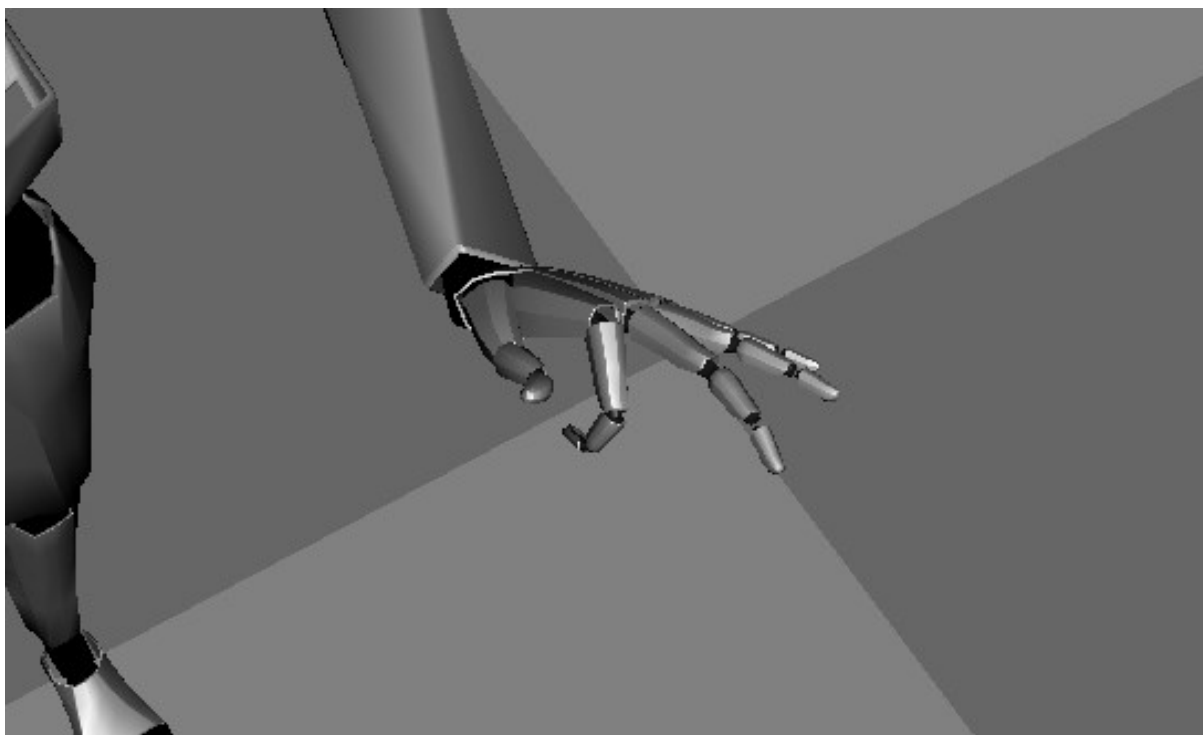
Ukupno trajanje pokusa iznosi 25 sekundi te se u tom vremenu izvede 12 ponavljanja savijanja kažiprsta. Dijagram u nastavku prikazat će samo dio pokusa (tri ponavljanja savijanja kažiprsta) u trajanju od osam sekundi, u kojem će se uspoređivati rezultati.

Slika 39. prikazuje početni položaj, u kojem su kažiprst i ostali prsti ispruženi.



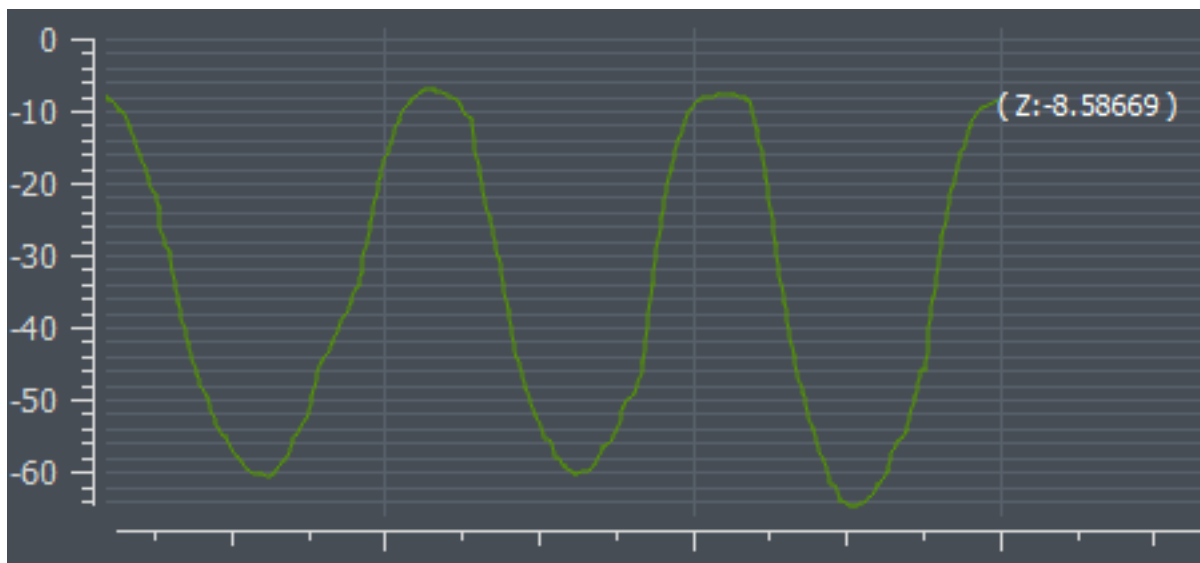
**Slika 39. Početna pozicija prstiju**

Slika 40. prikazuje krajnji položaj kažiprsta, nakon savijanja.



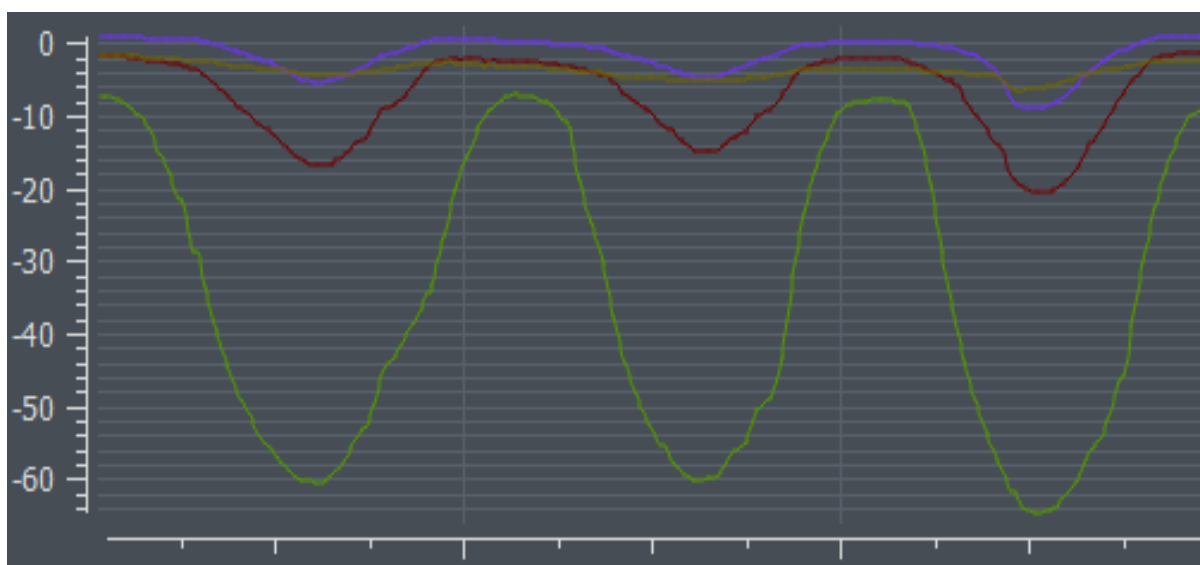
**Slika 40. Krajnji položaj kažiprsta, nakon savijanja**

Slika 41. prikazuje dijagram kuta savijanja kažiprsta. Na vertikalnoj osi prikazan je kut savijanja u stupnjevima. Horizontalna os predstavlja vrijeme u sekundama.



Slika 41. Kut savijanja kažiprsta: dijagram ovisnosti kuta (u stupnjevima) o vremenu (u sekundama)

Slika 42. prikazuje usporedbu kuta savijanja kažiprsta, srednjaka, prstenjaka i maloga prsta.



Zelena boja – kažiprst  
Plava boja – prstenjak

Tamno smeđa boja – srednjak  
Svijetlo smeđa boja – mali prst

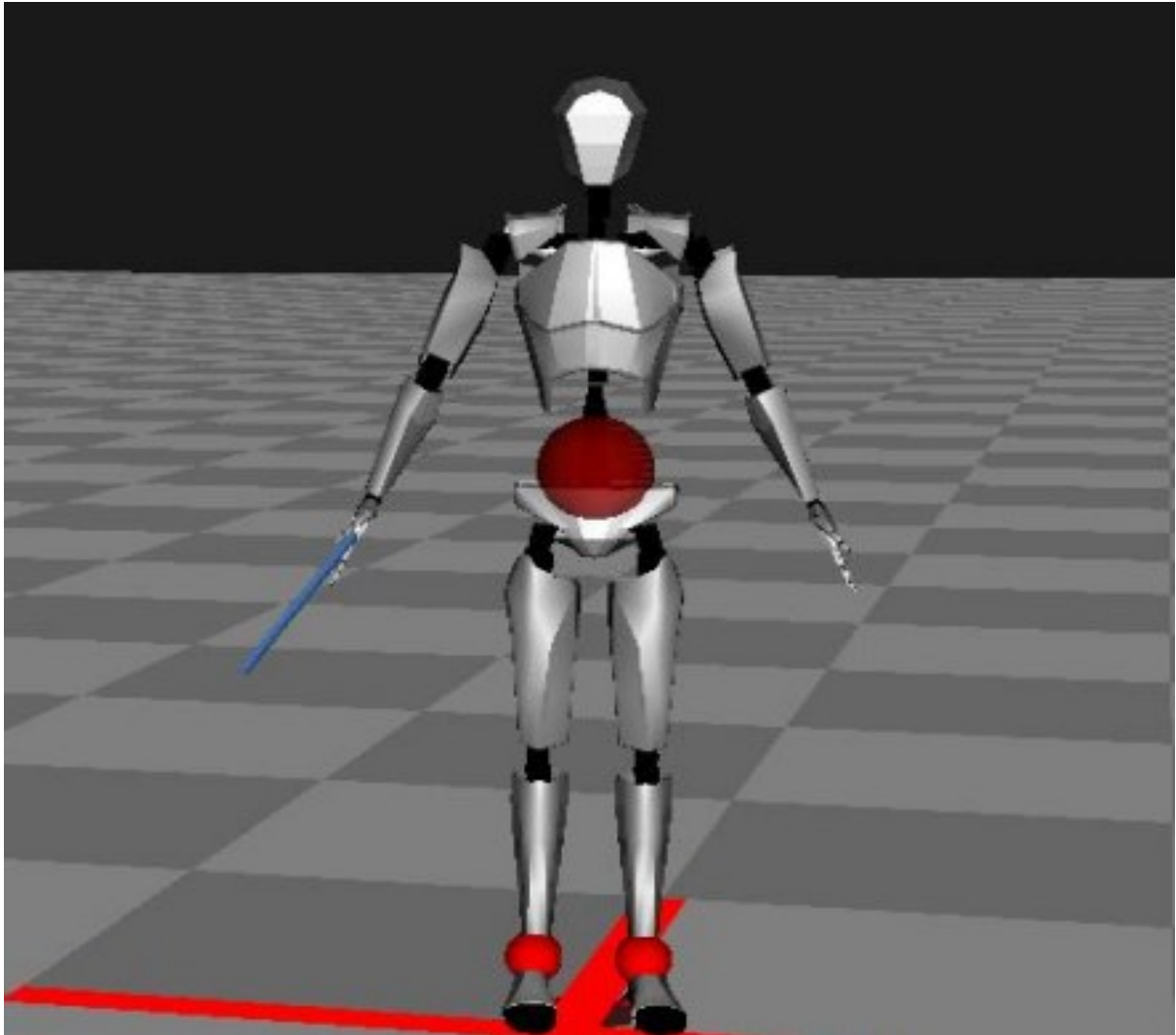
Slika 42. Usporedba kuta savijanja prstiju – devet senzora

### Zaključci nakon pokusa:

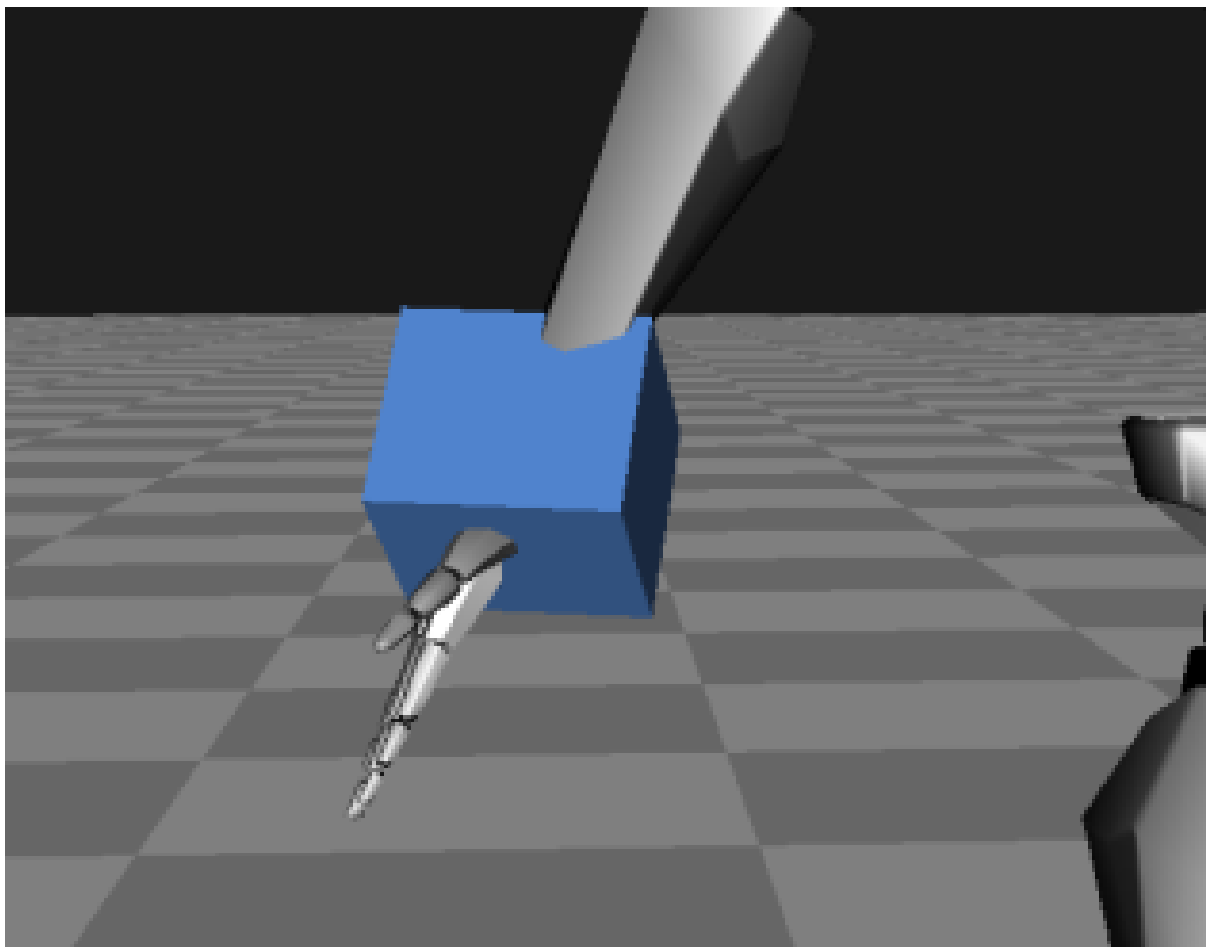
Za razliku od korištenja šest, korištenjem devet senzora, kutovi savijanja srednjaka, prstenjaka i malog prsta razlikuju se od kuta savijanja kažiprsta. Čime se zaključuje da samim savijanjem kažiprsta, ne dolazi do sinkronog savijanja ostalih prstiju te je **moguće individualno upravljanje svakim prstom.**

### **6.2. Način rada s cijelim tijelom – korištenje dodatnog senzora**

Program Axis Neuron omogućuje, korištenjem načina rada s cijelim tijelom, mogućnost dodavanja jednog senzora koji se prikazuje kao rekvizit u programu. Slika 43. prikazuje cijelo virtualno tijelo s dodatnim sensorom koji se prikazuje kao virtualni rekvizit u programu. Izgled virtualnog rekvizita može se mijenjati u samome programu, kao i njegova lokacija na tijelu. Početnim spajanjem dodatnog senzora, rekvizit ima oblik kocke i smješten je na zapešću desne ruke (Slika 44.). Program omogućuje smještaj dodatnog senzora na različite dijelove tijela.



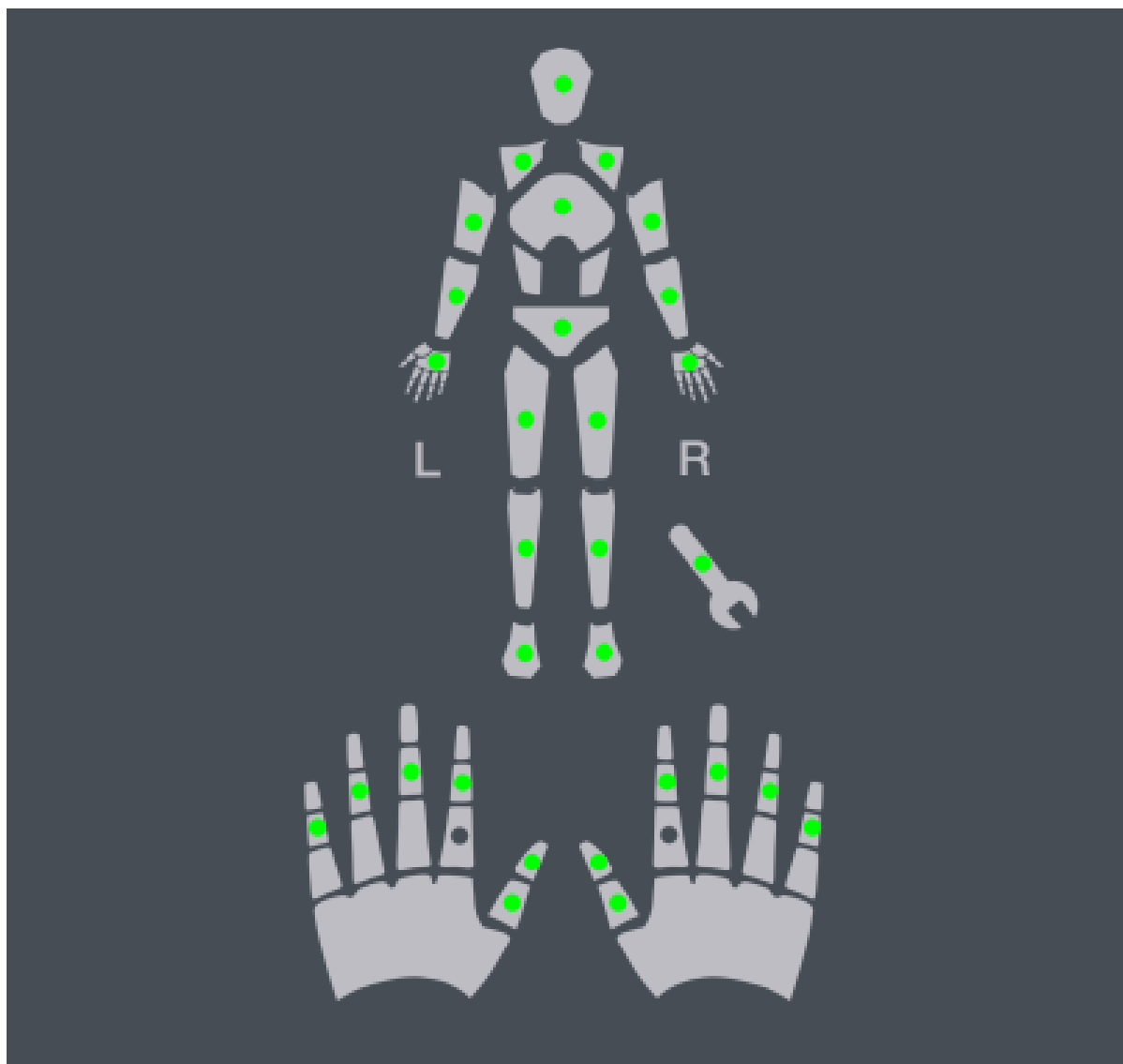
Slika 43. Korištenje dodatnog senzora kao alata [23]



Slika 44. Početni oblik rekvizita [23]

### **Pokus spajanja i korištenja dodatnog senzora kao rekvizita**

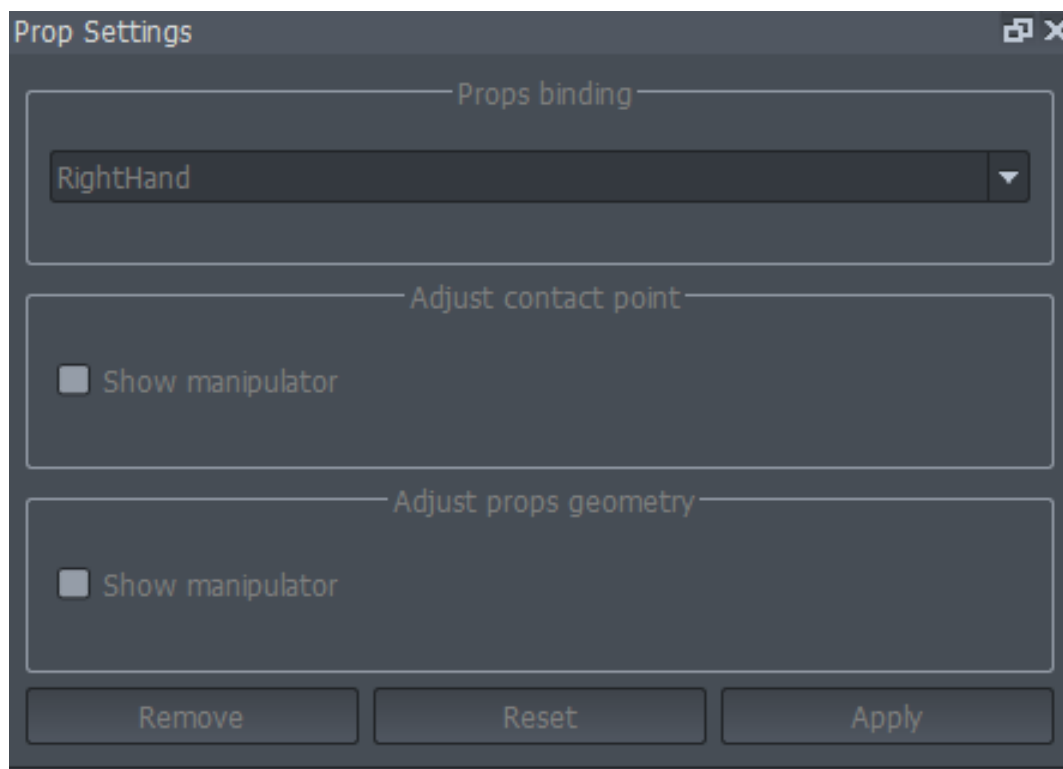
U ovom pokusu koristit će se način rada s cijelim tijelom te će se spojiti dodatni senzor koji će se u programu prikazati kao rekvizit. U pokusu je korišteno 29 senzora i jedan dodatni senzor, što čini ukupno 30 senzora (Slika 45.).



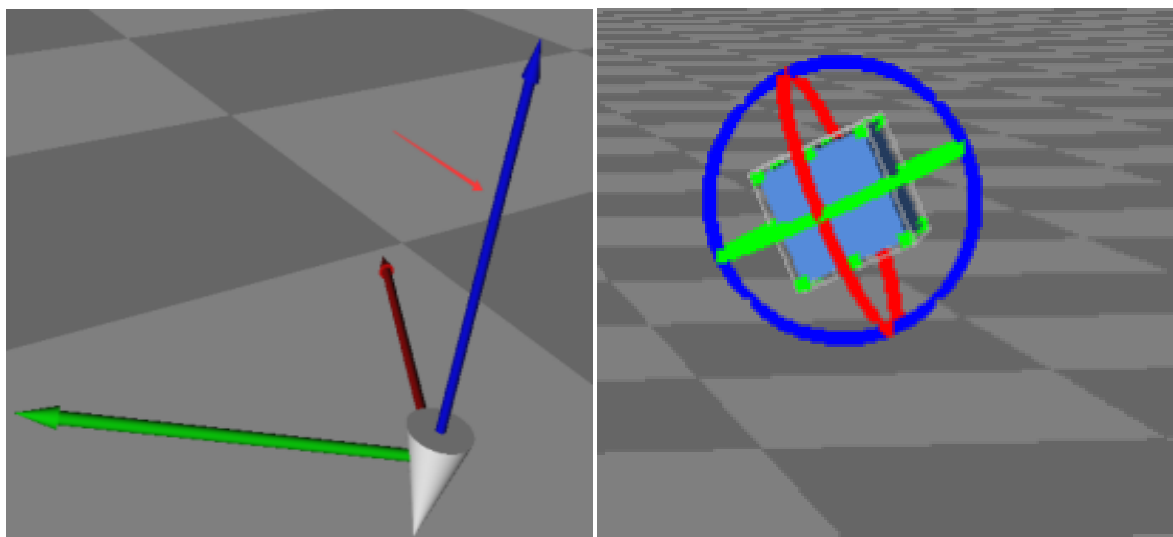
**Slika 45. Prikaz rasporeda spojenih senzora**

Slika 46. prikazuje prozor postavka dodatnog senzora, gdje se može odabrati dio tijela na kojem će se prikazati rekvizit (alat) i označiti prozorčić za prikaz manipulatora (engl. *show manipulator*), kojim se vrši pozicioniranje i oblikovanje rekvizita (alata). Slika 47. prikazuje pozicioniranje i oblikovanje rekvizita u programu uz pomoć manipulatora. Pozicioniranjem se pomiče virtualni rekvizit po koordinatnim osima, a oblikovanjem se utječe na izgled i kut zakreta rekvizita. Početni oblik rekvizita preoblikovan je u kvadar i tijekom pokusa vrši se njegovo pozicioniranje na desnom dlanu (Slika 48.).

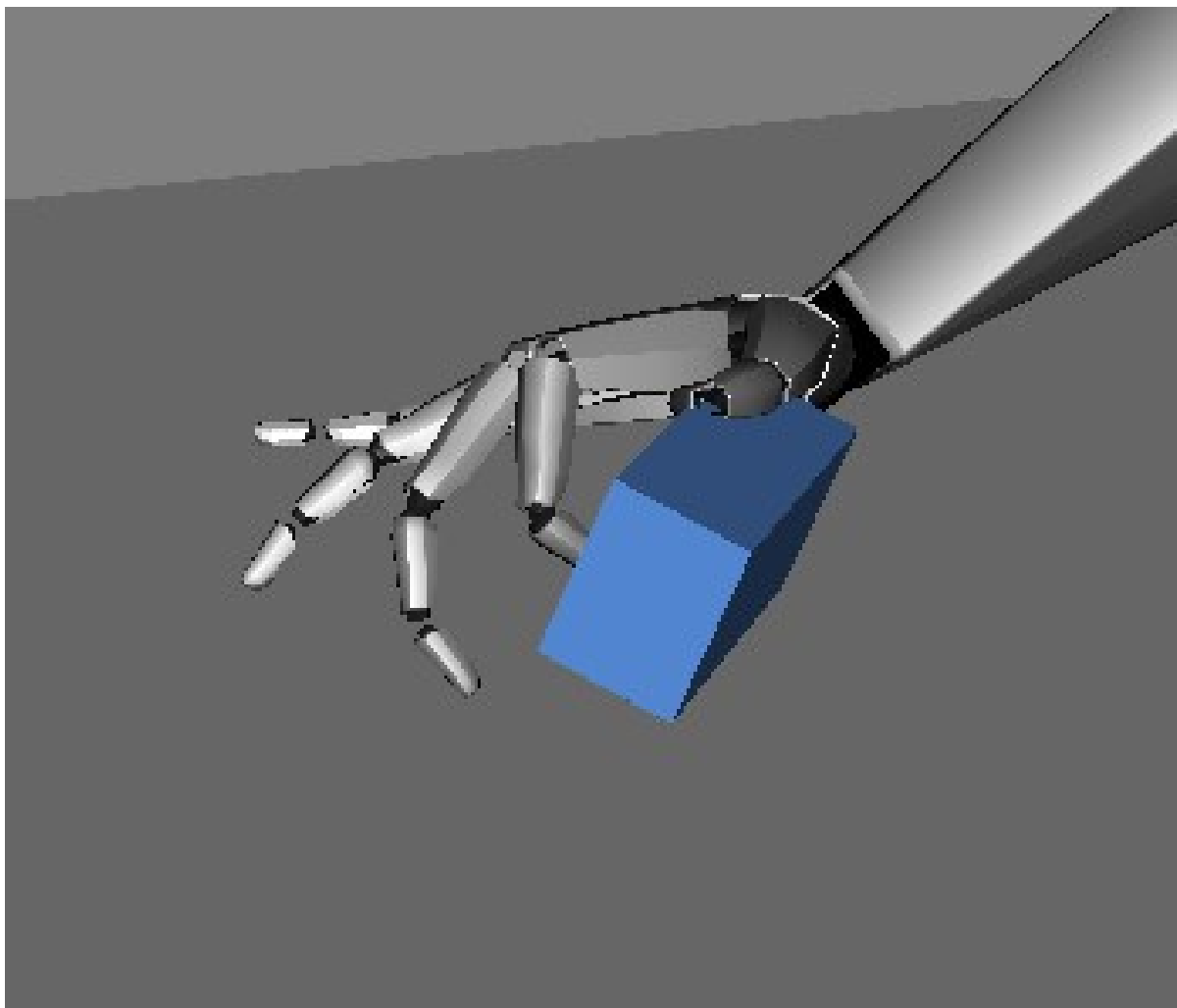




Slika 46. Postavke dodatnog senzora



Slika 47. Pozicioniranje (lijevo) i oblikovanje (desno) virtualnog rekvizita [23]



Slika 48. Upravljanje rekvizitom oblika kvadra

Zaključci nakon pokusa:

Pokusom se htjelo pokazati funkcionira li mogućnost korištenja dodatnog senzora kao rekvizita. Navedenu mogućnost moguće je koristiti samo ukoliko se koristi način rada s cijelim tijelom, u suprotnome nije dostupno korištenje dodatnog senzora u tu svrhu.

Korištenje dodatnog senzora u programu Axis Neuron nema neku naročitu funkciju osim obogaćivanja scene snimanja. **Nema mogućnosti praćenja svojstava kretnji te njihovih prikazivanja u dijagramu.**

## 7. ZAKLJUČAK

Važnost pokreta očituje se upravo u njihovoj neizostavnosti u ljudskom postojanju i svakodnevnicu. Sve ljudske djelatnosti u manjoj ili većoj mjeri oslanjaju se na pokret. Snimanje i analiza pokreta omogućuju proučavanje naravi pokreta i njihovu optimiranu primjenu u raznim područjima ljudske djelatnosti. Također, poznavanje naravi pokreta omogućuje razvoj uređaja u svrhu olakšavanja i zamjene ljudskog rada strojnim.

Perception Neuron 2.0 jedan je uređaj kojim se mogu snimati ljudski pokreti. Različiti načini rada uređaja omogućuju raznolik spektar snimanja pokreta, od pojedinačnih dijelova tijela pa sve do snimanja tijela kao cjeline. Pri tome su dostupna za korištenje trideset i dva senzora, a njihova je konfiguracija ovisna o odabranom načinu rada. Uređaj je korišten zajedno s programom Axis Neuron. Program Axis Neuron sa svojim algoritmima 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 i programa otvara se mogućnost kvalitetnog praćenja, a potom i analize svojstava kretnji te njihov izvoz u ostale kompatibilne programe gdje se u potpunosti može iskoristiti potencijal uređaja s njegovim brojnim podacima o kretnjama, sakupljenim tijekom snimanja pokreta.

U radu se istraživala funkcionalnost uređaja provedbom niza pokusa snimanja pokreta jedne ruke i cijelog tijela, te su nakon pokusa za svaki od njih izvedeni odgovarajući zaključci.

Kako su u općem trendu digitalizacije snimanja pokreta sve rasprostranjenija, s daljnjim se razvitkom tehnologije očekuju sve kompleksnije primjene. U sklopu toga, a i u smislu daljnjeg rada, može se razmotriti povezivanje uređaja Perception Neuron 2.0 s drugim uređajima (kao što su Leap Motion Controller i Emotiv EPOC X) i opremom odnosno softverima za analizu pokreta (Cortex, ProAnalyst), ali i inženjerskim CAD softverima (CATIA, Siemens NX).

## 8. LITERATURA

- [1] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Primarne\\_djelatnosti](https://hr.wikipedia.org/wiki/Primarne_djelatnosti), pristupljeno: 20210810.
- [2] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Sekundarne\\_djelatnosti](https://hr.wikipedia.org/wiki/Sekundarne_djelatnosti), pristupljeno: 20210810.
- [3] <https://hr.thpanorama.com/articles/cultura-general/qu-son-las-actividades-primarias-secundarias-y-terciarias.html>, pristupljeno: 20210810.
- [4] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Uslu%C5%BEne\\_djelatnosti](https://hr.wikipedia.org/wiki/Uslu%C5%BEne_djelatnosti), pristupljeno: 20210810.
- [5] 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>.
- [6] Štivić I.; Podatkovna rukavica za snimanje i analizu pokreta [Diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2019. Dostupno na: <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:4699>.
- [7] <https://www.huns.hr/upload/osnove-kineziologije.pdf>, pristupljeno: 20210811.
- [8] <https://www.patcash.co.uk/2011/09/biomechanics>, pristupljeno: 20210811.
- [9] <https://bdtechtalks.com/human-robot-cooperation>, pristupljeno: 20210811.
- [10] <https://hri.iit.it/research/physical-human-robot-interaction-and-collaboration>, pristupljeno: 20210811.
- [11] <https://www.aspetar.com/journal/viewarticle.aspx?id=198>, pristupljeno: 20210811.
- [12] <https://surgery.med.ufl.edu>, pristupljeno: 20210811.
- [13] <http://kinectic.net/motion-capture-face>, pristupljeno: 20210812.
- [14] Buzjak D.; Prema imerzivnom projektiranju proizvodnih procesa korištenjem tehnika virtualne stvarnosti [Diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2017. Dostupno na: <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:3857>.
- [15] <https://teslasuit.io>, pristupljeno: 20210813.
- [16] <https://neuronmocap.com>, pristupljeno: 20210816.
- [17] <https://www.target3d.co.uk/product-page/perception-neuron-2-0>, pristupljeno: 20210817.

- [18] [https://www.r-p-c.ru/en/products/accessories\\_neuron](https://www.r-p-c.ru/en/products/accessories_neuron), pristupljeno: 20210817.
- [19] <https://futurus.com/virtual-reality/perception-neuron-v2-review>, pristupljeno: 20210817.
- [20] [https://noahzucker.info/Perception\\_Neuron.html](https://noahzucker.info/Perception_Neuron.html), pristupljeno: 20210817.
- [21] <https://www.target3d.co.nz/product-page/32-neuron-edition-v2>, pristupljeno: 20210817.
- [22] <https://shopcdn.noitom.com.cn/software/AxisUserGuideFinal0923.pdf>, pristupljeno: 20210819.
- [23] [Axis Neuron Reference Manual \(neuronmocap.com\)](#), pristupljeno: 20210823.
- [24] [\(PDF\) Application of a Perception Neuron® System in Simulation-Based Surgical Training \(researchgate.net\)](#), pristupljeno: 20210827.
- [25] <https://www.scitepress.org/Papers/2019/83636/pdf/index.html>, pristupljeno: 20210830.
- [26] [Gospodarstvo – Wikipedija \(wikipedia.org\)](#), pristupljeno: 20210902.
- [27] [Skills Simulator \(davincisurgerycommunity.com\)](#), pristupljeno: 20210902.
- [28] [Axis Neuron | Perception Neuron Motion Capture \(neuronmocap.com\)](#), pristupljeno: 20210904.