

# Primjena virtualne stvarnosti u radnom okružju

---

**Antunović, Bartol**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:235:202535>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Bartol Antunović**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:




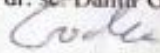

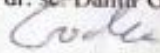

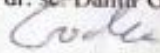
Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Bartol Antunović

Zagreb, 2023.

## ZADATAK

	<p><b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b>  <b>FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE</b>          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, autonomni sustavi i računalna inteligencija i mehatronika i robotika</p>											
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Sveučilište u Zagrebu</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fakultet strojarstva i brodogradnje</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Datum</td> <td style="width: 50%;">Prilog</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klasa: <b>602 - 04 / 23 - 6 / 1</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ur broj: <b>15 - 1703 - 23 -</b></td> </tr> </table>			Sveučilište u Zagrebu		Fakultet strojarstva i brodogradnje		Datum	Prilog	Klasa: <b>602 - 04 / 23 - 6 / 1</b>		Ur broj: <b>15 - 1703 - 23 -</b>	
Sveučilište u Zagrebu												
Fakultet strojarstva i brodogradnje												
Datum	Prilog											
Klasa: <b>602 - 04 / 23 - 6 / 1</b>												
Ur broj: <b>15 - 1703 - 23 -</b>												
<h3>ZAVRŠNI ZADATAK</h3>												
Student:	<b>Bartol Antunović</b>	JMBAG: <b>0035224133</b>										
Naslov rada na hrvatskom jeziku:	<b>Primjena virtualne stvarnosti u radnom okružju</b>											
Naslov rada na engleskom jeziku:	<b>Application of virtual reality in a work environment</b>											
Opis zadatka:	<p>Napretkom tehnike stvaraju se novi alati a s njima nove mogućnosti opredmećivanja stvarnosti.</p> <p>U radu je potrebno:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. objasniti koncept virtualne stvarnosti</li> <li>2. navesti i opisati primjere primjene virtualne stvarnosti, posebno sa stanovišta poboljšanja kvalitete, produktivnosti i učinkovitosti te sigurnosti u radnim procesima</li> <li>3. predložiti radno okružje u kojem bi se mogla koristiti virtualna stvarnost s navođenjem prikladne opreme.</li> </ol>											
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Zadatak zadan:   20.4.2023. </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Datum predaje rada:   <b>2. rok (izvanredni): 12. 7. 2023.</b>  <b>3. rok: 21. i 22.9. 2023.</b> </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Predviđeni datumi obrane:   <b>2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.</b>  <b>3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.</b> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> Zadatak zadao:     Prof. dr.sc. Zoran Kunica </td> <td colspan="2" style="vertical-align: top;"> Predsjednik Povjerenstva:   Prof. dr. sc. Damir Godec   </td> </tr> </table>			Zadatak zadan:  20.4.2023.	Datum predaje rada:  <b>2. rok (izvanredni): 12. 7. 2023.</b> <b>3. rok: 21. i 22.9. 2023.</b>	Predviđeni datumi obrane:  <b>2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.</b> <b>3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.</b>	Zadatak zadao:   Prof. dr.sc. Zoran Kunica	Predsjednik Povjerenstva:  Prof. dr. sc. Damir Godec 					
Zadatak zadan:  20.4.2023.	Datum predaje rada:  <b>2. rok (izvanredni): 12. 7. 2023.</b> <b>3. rok: 21. i 22.9. 2023.</b>	Predviđeni datumi obrane:  <b>2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.</b> <b>3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.</b>										
Zadatak zadao:   Prof. dr.sc. Zoran Kunica	Predsjednik Povjerenstva:  Prof. dr. sc. Damir Godec 											

## **IZJAVA**

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici na savjetima, komentarima i kritikama tijekom izrade ovog rada.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji, kolegama i prijateljima na potpori i podršci tijekom ovih godina.

U Zagrebu, 18. rujna 2023.

Bartol Antunović

## **SAŽETAK**

Završni rad opisuje koncept i način rada virtualne stvarnosti (VR) te alata pomoću kojih se ulazi u taj svijet kroz kratak uvod u povijest i razvoj tehnologije. Posebno je opisana oprema te hardverski i softverski uvjeti za korištenje ove tehnologije. VR je primijenjena u radnom okružju kirurške operacije nosa (rinoplastika). Prilikom pokusa korišteni su razni CAD alati za modeliranje i simulaciju koji u kombinaciji s tehnologijom VR približavaju pokus realnom okruženju. Rezultati očekivano pokazuju velik potencijal tehnologije VR za edukaciju i analizu rada kirurga.

Ključne riječi: virtualna stvarnost, operacija nosa, rinoplastika, modeliranje

## **SUMMARY**

The paper describes the concept and mode of operation of virtual reality (VR) and the tools used to enter that world, through a brief introduction to the history and development of the technology. The equipment and hardware and software requirements used for this technology are specifically described. VR was used in the working environment of nose surgery (rhinoplasty). During the experiment, various CAD modeling and simulation tools were used, which in combination with VR technology bring the experiment closer to a real environment. As expected, the results show the great potential of VR technology for the education and analysis of surgeons' work.

Key words: virtual reality, nose surgery, rhinoplasty, modelling

## SADRŽAJ

ZADATAK.....	I
IZJAVA.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY .....	IV
POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	VI
POPIS SLIKA .....	VII
POPIS TABLICA.....	IX
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. POVIJEST I RAZVOJ VIRTUALNE REALNOSTI .....</b>	<b>3</b>
<b>3. VIRTUALNA STVARNOST.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Hardver .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Softver .....</b>	<b>13</b>
<b>4. PRIMJENA VIRTUALNE STVARNOSTI .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Primjena virtualne stvarnosti sa svrhom edukacije radnika.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2. Primjena virtualne stvarnosti u sklopu projektiranja proizvoda i sustava.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3. Primjena virtualne stvarnosti radi sigurnosti .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4. Primjena virtualne stvarnosti za upravljanje proizvodnjom .....</b>	<b>24</b>
<b>4.5. Primjena virtualne stvarnosti u medicini .....</b>	<b>26</b>
<b>5. POKUS U VEZI MOGUĆNOSTI PRIMJENE VR PRI OPERACIJI NOSA .....</b>	<b>29</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>55</b>
<b>7. IZVORI.....</b>	<b>57</b>



## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
$a$	mm	duljina
$b$	mm	visina
$c$	mm	dubina
CPU		eng. <i>Central Processing Unit</i> – procesor
eng.		engleski
GPU		eng. <i>Graphic Processing Unit</i> – grafička kartica
HMD		eng. <i>Head Mounted Display</i> – naglavni zaslon
RAM		eng. <i>Random Access Memory</i> – RAM
$t$	s	vrijeme
TCP		eng. <i>Tool Center Point</i> – središnja točka alata
VIEW		eng. <i>Virtual Interactive Environment Workstation</i> – radna stanica za virtualno interaktivno okruženje
VR		eng. <i>Virtual Reality</i> – virtualna stvarnost

## POPIS SLIKA

Slika 1. Simulator leta <i>Link Trainer</i> [1] .....	3
Slika 2. Sensorama [3] .....	4
Slika 3. Patent Sensorame [4] .....	5
Slika 4. Projekt Headsight, predak VR naočala [5].....	6
Slika 5. Damoklov mač [7] .....	6
Slika 6. VIEW [8].....	7
Slika 7. Naočale HTC Vive 1 [9] .....	9
Slika 8. Senzor HTC Vive [10] .....	10
Slika 9. Kontroler HTC Vive 1 [10].....	10
Slika 10. Haptički uređaj (rukavica) [12].....	11
Slika 11. Primjer stvorene prostorije za sastanke [15] .....	13
Slika 12. Projektiranje proizvodnog sustava pomoću VR-a [33] .....	24
Slika 13. Upravljanje skladištem [35] .....	25
Slika 14. VR u sklopu rehabilitacije [36] .....	27
Slika 15. Terapija PTSP-a pomoću VR-a [39] .....	28
Slika 16. Render 3D modela glave [42] .....	30
Slika 17. Render 3D modela skalpela [43].....	30
Slika 18. Render 3D modela operacijskog stola [44] .....	31
Slika 19. Primjeri postava senzora u radnom prostoru [45] .....	32
Slika 20. Crtanje opsega radne površine [46] .....	32
Slika 21. <i>Link box</i> [47] .....	33

Slika 22. SteamVR – radna površina .....	34
Slika 23. Izbornik za biranje okoliša .....	35
Slika 24. Popis podržanih datoteka .....	36
Slika 25. Glavni izbornik .....	37
Slika 26. Izbornik za ubacivanje 3D modela.....	37
Slika 27. Odabir željenog modela .....	38
Slika 28. Operacijski stol u virtualnoj okolini.....	38
Slika 29. Koordinate modela stola pri ubacivanju u virtualni prostor .....	39
Slika 30. Fiksiranje modela stola na željenim koordinatama .....	40
Slika 31. Početne koordinate glave .....	41
Slika 32. Konačne koordinate glave nakon fiksiranja.....	42
Slika 33. Postavljanje skalpela .....	43
Slika 34. Manipuliranje skalpelom.....	44
Slika 35. Zatvorena rinoplastika.....	45
Slika 36. Koordinate TCP-a nakon prvog pomaka .....	46
Slika 37. Koordinate TCP-a nakon drugog pomaka .....	47
Slika 38. Koordinate TCP-a na lijevoj nosnici.....	48
Slika 39. Koordinate TCP-a na lijevom vanjskom dijelu nosa .....	49
Slika 40. Osteotom [51] .....	50
Slika 41. Koordinate TCP-a na desnoj nosnici .....	51
Slika 42. Koordinate TCP-a na desnoj vanjskoj strani nosa .....	52
Slika 43. Haptičke rukavice HaptX [52] .....	54

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Minimalne, preporučene i optimalne specifikacije za korištenje VR naočala [13 i 14] .....	12
Tablica 2. Gabaritne mjere 3D modela [42 do 44] .....	31

## **1. UVOD**

U suvremenom svijetu, gdje se tehnološki napredak ubrzano širi, koncept virtualne stvarnosti (VR) se ističe kao moćno sredstvo koje ima potencijal transformirati način na koji percipiramo i obavljamo radne zadatke. Tehnologija VR, koja korisnicima omogućava uranjanje u simulirane digitalne svjetove, postaje sveprisutna u različitim industrijama, donoseći sobom inovativne primjene koje sežu dalje od područja zabave i igara. Umjesto toga, VR je sve više usmjeren prema poboljšanju radnih procesa, poticanju kreativnosti, olakšavanju obuke i optimiranju suradnje u radnim okružjima. Dok se tehnološki alati stalno razvijaju i prilagođavaju specifičnim potrebama rada, virtualna stvarnost je postala ključan faktor u promjeni načina na koji komuniciramo na poslu. Sposobnost da se zakorači u simulirani svijet otvara vrata brojnim mogućnostima, od stvaranja realističnih okruženja za obuku do olakšavanja složenih konstrukcijskih procesa. Jedna od ključnih primjena VR-a u radnom okružju je obuka i edukacija. Tradicionalna obuka zaposlenika često zahtijeva prisutnost instruktora ili fizičkih resursa, ali VR mijenja taj koncept. Koristeći VR simulacije, zaposlenici mogu proći kroz realistične scenarije, bilo da je riječ o kompliciranim radnim postupcima, rukovanju opasnim materijalima ili rješavanju složenih situacija. Ova vrsta obuke omogućava raadnicima da steknu praktično iskustvo u sigurnom okruženju, bez stvarnih rizika ili posljedica. Osim toga, VR otvara vrata novim razinama suradnje među ljudima koji se možda nalaze na različitim lokacijama. Sastanci u virtualnom prostoru omogućuju prisutnost i interakciju kao da su svi fizički prisutni, čime se smanjuju troškovi i vrijeme putovanja. Timovi mogu zajedno raditi na projektima, analizirati modele i dijeliti ideje kao da su u istoj prostoriji. Uz to, VR omogućava kreiranje inovativnih načina prezentacije i vizualizacije informacija. Kompleksni koncepti mogu biti prikazani u trodimenzionalnom prostoru, olakšavajući razumijevanje i analizu. Ova sposobnost VR-a da transformira apstraktne ideje u stvarne,

vizualno bogate prikaze, čini ga vrijednim alatom za komunikaciju unutar timova, ali i za prezentaciju klijentima i partnerima.

Kroz primjenu virtualne stvarnosti u radnom okružju, otvaraju se mnoge mogućnosti koje osnažuju zaposlenike, potiču kreativnost i unapređuju produktivnost. Kroz VR tehnologiju, radno okružje postaje mjesto gdje granice stvarnog i digitalnog postaju zamagljene. To omogućuje radnicima da stvaraju, istražuju i surađuju na načine koji su nezamislivi u tradicionalnom radnom okružju. U nastavku će se istražiti ključne primjene virtualne stvarnosti u radnom kontekstu, ističući kako ova tehnologija oblikuje budućnost rada i poslovanja. Također, posebno će se istražiti mogućnost primjene virtualne stvarnosti radi poboljšanja kvalitete, produktivnosti i učinkovitosti te sigurnosti u radnim procesima.

## 2. POVIJEST I RAZVOJ VIRTUALNE REALNOSTI

U prvoj polovici 20. stoljeća potreba za treniranjem pilota je dovela do izuma prvog simulatora ikada, te je tako Edwin Albert Link konstruirao prvi simulator leta [1] – *Link Trainer* (Slika 1.), koji postavlja temelje za ideju i razvijanje virtualne stvarnosti.



Slika 1. Simulator leta *Link Trainer* [1]

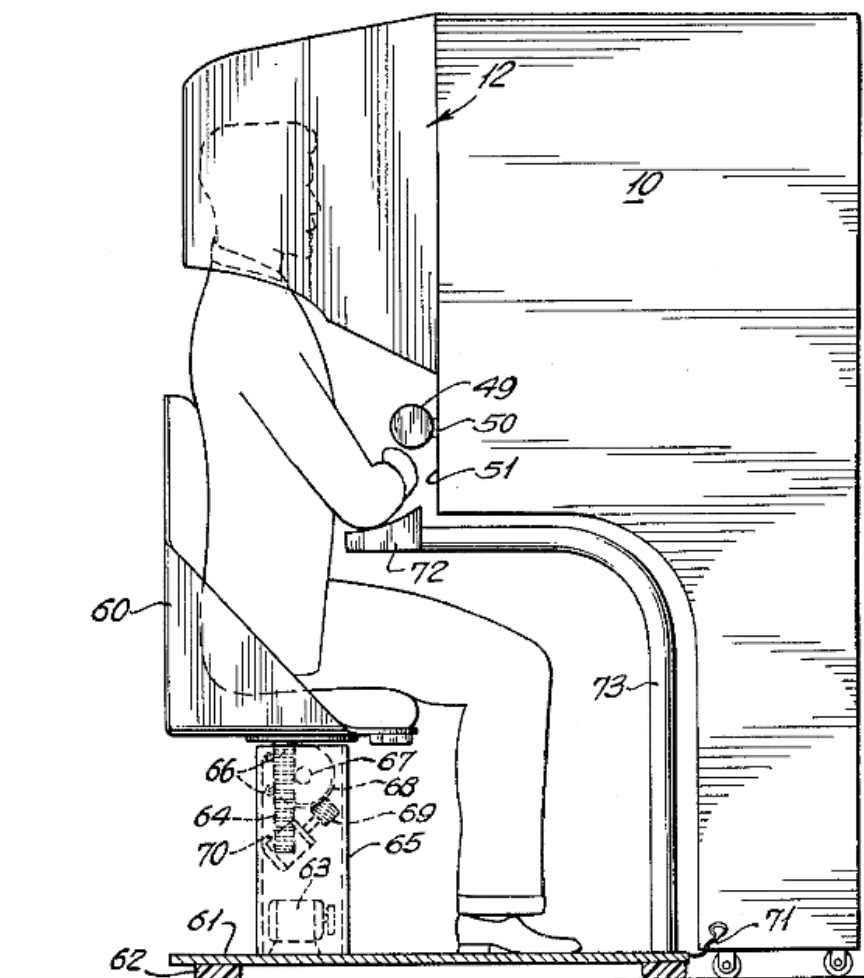
Međutim, prvim pravim pionirima virtualne stvarnosti smatra se Morton Heilig, kinematograf i izumitelj, koji je pedesetih godina 20. stoljeća pisao o svojoj ideji *iskustvenog kina*, gdje bi gledatelji mogli ne samo vidom nego i ostalim osjetilima, uživati u projekciji, stvaranjem takvog efekta da gledatelj stvarno doživljava prikazano. Njegova ideja je kulminirala 1962. godine izgradnjom *Sensorame* (Slika 2.). Sensorama je mehanički stroj koji uz pomoć stereoskopskog prikaza boja, ventilatora, odašiljača mirisa, stereo ozvučenja i pomičnog stolca

(Slika 3.) ujedinio sva osjetila, osim okusa, u, tada, jedinstvenom iskustvu [2]. Stroj je radio na principu vremenski vrlo dobro iniciranih podražaja, te je tako jedan od pet kratkih filmova dostupno je prikazivalo vožnju na motociklu Brooklynom; i stvorilo iskustvo sjedenja na zamišljenom motociklu pomoću prikaza na platnu koji je pokrивao cijelo vidno polje, stvaranjem strujanja zraka pomoću ventilatora te mirisa ispušnih plinova kada bi se gledatelj približio autobusu i svježe pečene pizze i peciva kada bi se vozio pored pekara i pizzerija pomoću jednostavnih kemijskih reakcija unutar kućišta.



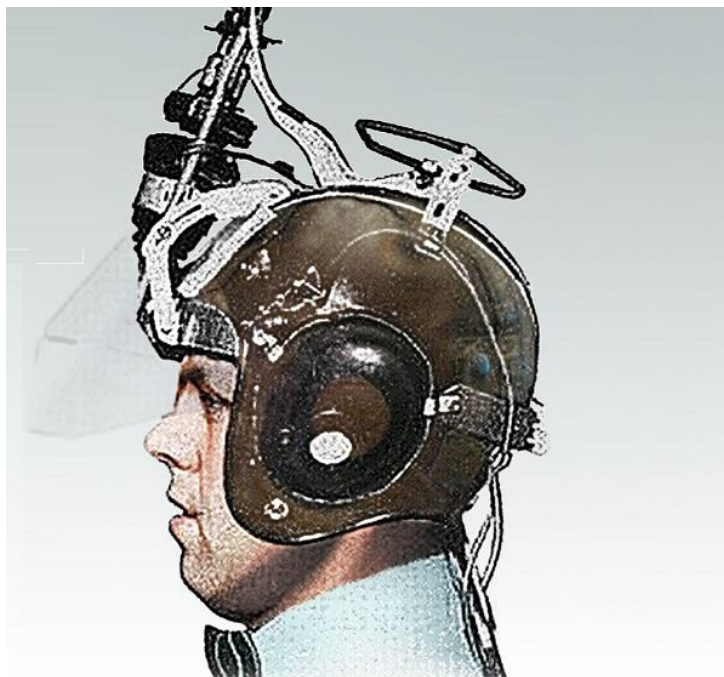
Slika 2. Sensorama [3]





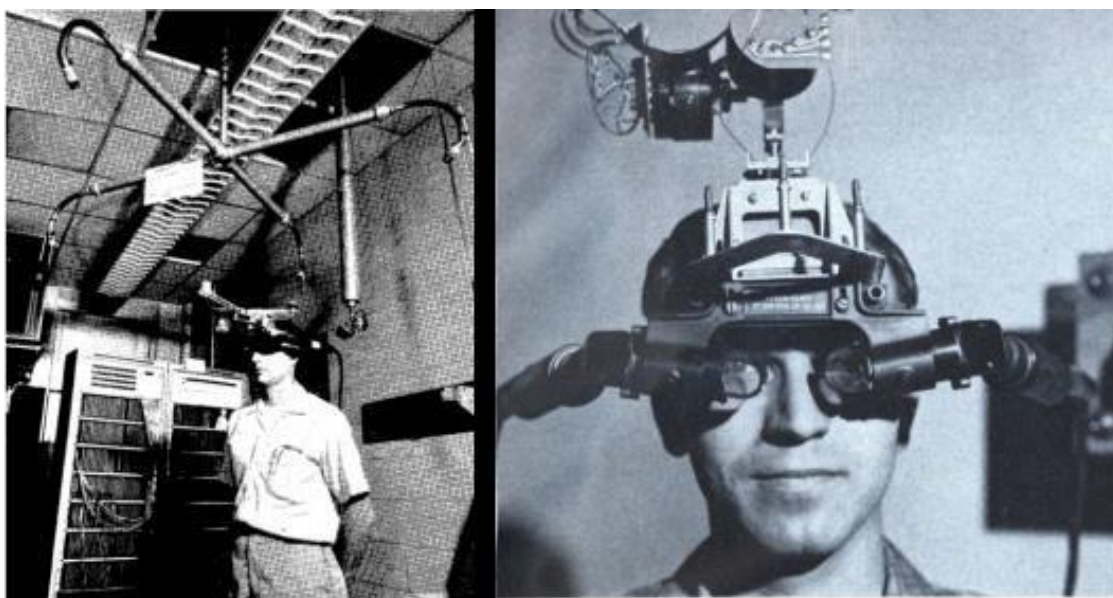
Slika 3. Patent Sensorame [4]

Nakon izuma Sensorame počinje se razvijati ideja njezine prenosive izvedbe, te je tako 1961. godine tvrtka Philco Corp. predstavila projekt Headsight. Radi se o prvom HMD-u (eng. Head Mounted Display) – kacigi s ugrađenim ekranom i sustavom praćenja pokreta, namijenjenom uglavnom za vojne treninge te nikad kapitaliziranom u proizvod koji bi bio šire prisutan na tržištu (Slika 4.). [5]



**Slika 4. Projekt Headsight, predak VR naočala [5]**

Zaintrigiran virtualnom realnošću, Ivan Sutherland je, uz pomoć svojih studenata, 1968. godine izumio ono što se smatra prvim naočalama za virtualnu stvarnost: Damoklov mač (Slika 5.). Uređaj se sastojao od zaslona montiranog na glavi koji je, uslijed velike težine konstrukcije i zaslona, bio pridržavan čeličnom rukom koja je visila sa stropa limitirajući tako pokrete na isključivo rotaciju. Rotacija uređaja je bila nužna za postizanje što većeg realizma, tako da bi pri okretanju glave neke dijelove zaslona zaoštrio a neke zamutio. [6]



**Slika 5. Damoklov mač [7]**

Tijekom iduća dva desetljeća, od 1970. do 1990., ideja primjene virtualne stvarnosti se naglo proširila što je dovelo do razvitka i primjenu virtualne stvarnosti u sve više ogranka industrije kao što su: primjena u medicini, simulaciji leta, automobilske industriji i vojnim treninzima. Eric Howlett je 1979. godine razvio LEEP (eng. *Large Expanse, Extra Perspective*) optički sustav. Sustav je stvarao stereoskopsku sliku s dovoljno širokim i dubokim vidnim poljem za uvjerljiv osjećaj realnog prostora ispred korisnika [8]. Tehnologija LEEP bila je temelj za stvaranje prvih modernih naočala za virtualnu stvarnost, VIEW (Virtual Interactive Environment Workstation) (Slika 6.).



Slika 6. VIEW [8]

Nakon izuma VIEW-a razvitak VR naočala je imao eksponencijalan rast, a primjena naglo rasla u svim industrijama, a najviše u industriji videoigara gdje se najviše naočala proizvodi i razvija kao što su: Oculus VR, HTC, Samsung, Apple, AMD. Ipak, VR naočale nisu samo alat za zabavu, nego su se ukomponirale i u radno-poslovnu domenu: nakon detaljnog opisa tehnologije i načina rada naočala VR, pokazat će se mnogobrojne primjene VR-a u radnom okružju.

### 3. VIRTUALNA STVARNOST

Način rada virtualne stvarnosti (VR-a) uključuje spoj više elemenata koji zajedno omogućavaju korisniku da se osjeća kao da je fizički prisutan unutar virtualnog okruženja. To se postiže kroz kombinaciju praćenja korisničkih pokreta i položaja, grafičkog renderiranja, realističnih slika i stvaranje interakcije sa simuliranim objektima. Ova sinteza tehnologija omogućuje korisnicima da istražuju, komuniciraju i manipuliraju virtualnim prostorom na način koji je sličan stvarnom svijetu. U nastavku, detaljnije će se istražiti hardverske i softverske potrebe koje leže u osnovi ovog tehnološkog koncepta.

#### 3.1. Hardver

Za stvaranje autentičnog i uvjerljivog iskustva VR-a, potrebno je koristiti određene hardverske komponente koje omogućavaju praćenje pokreta, prikaz visokokvalitetne grafike i osiguravaju optimalno korisničko iskustvo. Virtualna stvarnost predstavlja revolucionarnu tehnologiju koja korisnicima omogućuje duboko autentično iskustvo interakcije s virtualnim svijetom. Ovo dinamično iskustvo temelji se na skladnoj integraciji različitih hardverskih komponenata koje su ključne za stvaranje uvjerljive i uranjajuće virtualne stvarnosti. U srcu VR iskustva su VR naočale (Slika 7.), ili *headseti*, koje otvaraju vrata virtualnom svijetu. Naočale kombiniraju visokokvalitetne ekrane za svako oko, stvarajući tako realan stereoskopski prikaz. Kvalitetna slika postiže se putem integriranih leća, dok senzori za praćenje pokreta omogućuju korisnicima da prirodno reagiraju, okreću glavu i kreću se unutar simulirane stvarnosti. [9]



**Slika 7. Naočale HTC Vive 1 [9]**

Senzori za praćenje pokreta (Slika 8.) ključni su za stvaranje osjećaja prisutnosti, što omogućava slobodno kretanje korisnika unutar virtulanog okruženja [10]. Interakcija s virtualnim svijetom omogućena je kroz kontrolere (Slika 9.). Ovi uređaji omogućavaju korisnicima da manipuliraju objektima, gestikuliraju i obavljaju razne radnje unutar virtualnog okruženja. Zajedno s kontrolerima, senzori za praćenje pokreta omogućuju intuitivnu interakciju, stvarajući osjećaj stvarne prisutnosti.



**Slika 8. Senzor HTC Vive [10]**



**Slika 9. Kontroler HTC Vive 1 [10]**

Kvalitetno vizualno i zvučno iskustvo postiže se putem snažnog računalnog hardvera i visokokvalitetnog zvučnog sustava. Računalni hardver igra ključnu ulogu u procesiranju složenih grafičkih i računalnih operacija u stvarnom vremenu, omogućujući fluidne i uranjajuće VR doživljaje.

Prostorni zvuk (eng. *surrounding sound*) dodatno povećava osjećaj stvarne prisutnosti, omogućujući korisnicima da reagiraju na zvukove iz različitih smjerova. Haptički *feedback* dodaje dodatni nivo uranjanja. Uređaji za haptički povrat informacija (Slika 10.) omogućuju



korisnicima da osjete vibracije, pritisak i druge senzacije tijekom interakcije s virtualnim objektima, dodatno obogaćujući iskustvo. [11] Ova tehnologija dodatno približava korisnike stvarnom svijetu unutar virtualne stvarnosti.



**Slika 10. Haptički uređaj (rukavica) [12]**

Napredni VR sustavi uključuju tehnologiju praćenja korisnikovog pogleda i pokreta očiju. Praćenje pogleda omogućava precizno upravljanje interakcijom putem očiju, otvarajući vrata prirodnoj komunikaciji s virtualnim svijetom; i tako omogućava korisnicima da dublje urone u virtualni svijet i interagiraju na prirodan način. Integracija ovih ključnih hardverskih komponenata omogućava korisnicima da dožive impresivno, uranjajuće i uvjerljivo iskustvo virtualne stvarnosti. Svaka komponenta doprinosi stvaranju osjećaja stvarne prisutnosti, omogućujući korisnicima da se osjećaju kao da su zaista prisutni unutar virtualnog svijeta.

Kvaliteta i funkcionalnost ovih komponenata su značajne za postizanje autentičnog i ispunjavajućeg VR iskustva.

Stvaranje novog, virtualnog svijeta može biti velika tegoba računalu, te kao za pokretanje svakog programa računalu treba zadovoljavati neke minimalne potrebe za pokretanje virtualne stvarnosti. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** daje minimalne, preporučene i optimalne hardverske komponente za uspješno i fluidno stvaranje virtualne stvarnosti za naočale HTC Vive 1.

**Tablica 1. Minimalne, preporučene i optimalne specifikacije za korištenje VR naočala [13 i 14]**

<i>Komponenta</i>	<i>Minimalno</i>	<i>Preporučeno</i>	<i>Optimalno</i>
<i>Procesor (CPU)</i>	Intel Core i5-4590/Amd FX 8350 ili bolje	Intel Core i5-4590/Amd FX 8350 ili bolje	Intel Core i7-13700K 16 Core/AMD Ryzen 7 7700X 8 core
<i>Grafička (GPU)</i>	Nvidia GeForce GTX 970, AMD Radeon R9290 ili bolje	Nvidia GeForce GTX 1060, AMD Radeon RX 480 ili bolje	Nvidia GeForce RTX 4060 Ti
<i>Memorija (RAM)</i>	4 GB ili više	4 GB ili više	32 GB
<i>Video port</i>	HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 ili novije	HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 ili novije	HDMI 2.1, DisplayPort 2.1
<i>USB port</i>	1x USB 2.0 ili novije	1x USB 2.0 ili novije	1x USB 3.2
<i>Operativni sustav</i>	Windows 7 SP1, Windows 8.1 ili novije	Windows 7 SP1, Windows 8.1 ili novije	Windows 11

Iz Tablice 1. uočava se suptilna razlika između minimalnih i preporučenih tehničkih zahtjeva u vezi s komponentama, međutim najviši standard za neometan rad u svijetu VR-a zahtijeva značajno kvalitetnije i naprednije komponente, koje često dolaze s većim cijenama, što može biti ključno za kvalitetno korištenje ove tehnologije u radnom okružju.



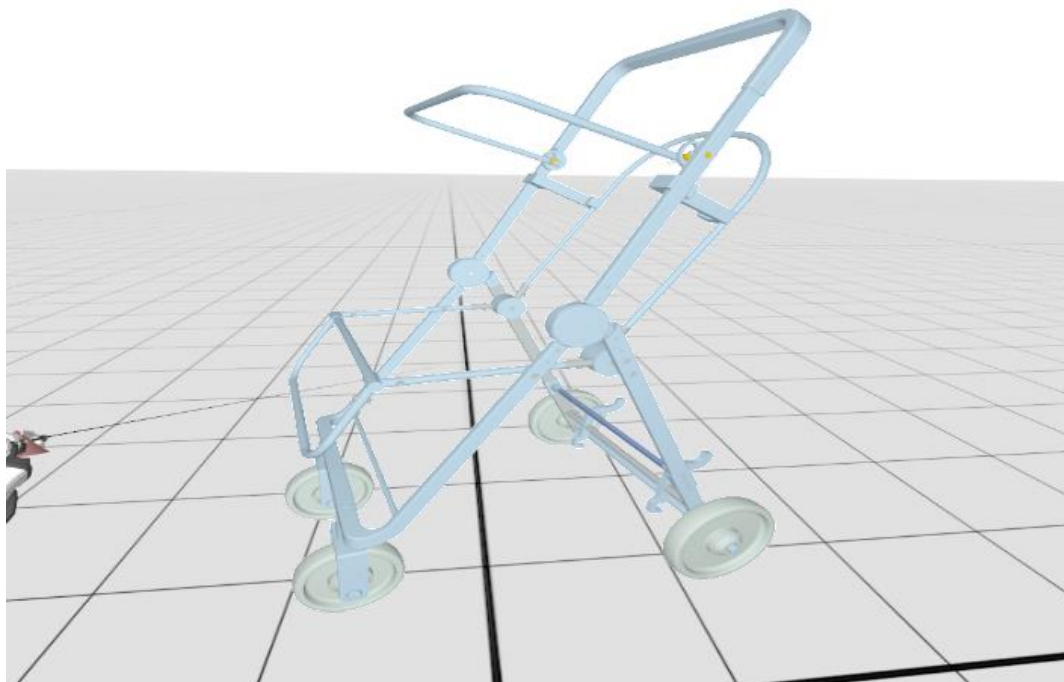
### 3.2. Softver

U stvaranju uvjerljive i duboko autentične virtualne stvarnosti, bitnu ulogu igraju softverske komponente koje omogućavaju kreiranje, upravljanje i optimiranje virtualnih svjetova. Ove softverske komponente su esencijalne za stvaranje interaktivnih, realističnih i zadovoljavajućih VR iskustava. Jedna od temeljnih komponenata je razvojno okruženje za virtualnu stvarnost. Ovi specijalizirani softverski alati omogućavaju timovima da kreiraju kompleksne virtualne svjetove, modele objekata, teksture, zvukove i animacije. Kroz 3D grafičke programe i softvere za modeliranje, timovi mogu stvarati realistične i maštovite svjetove (Slika 11.), koji čine osnovu VR iskustava.



**Slika 11. Primjer stvorene prostorije za sastanke [15]**

*Rendering* je ključan za stvaranje vizualno impresivnih VR svjetova. Ova komponenta obrađuje 3D modele i slike te ih prikazuje korisnicima u stvarnom vremenu, uzimajući u obzir njihovu orijentaciju i položaj. Visokokvalitetan rendering omogućava realističan izgled virtualnih objekata (Slika 12.), okruženja i efekata, stvarajući osjećaj stvarne prisutnosti.



**Slika 12. Primjer 3D modela kolica u virtualnom prostoru**

Praćenje pokreta je također ključno za stvaranje vjerodostojnih VR iskustava. Softverske komponente prate podatke dobivene od senzora za praćenje pokreta u VR naočalama kako bi se pravilno prilagodila slika i omogućila korisnicima interakciju sa svijetom oko sebe. Praćenje pokreta omogućava korisnicima da se prirodno kreću unutar virtualnog okruženja, povećavajući njihov osjećaj prisutnosti. Simulacija fizičkih zakona igra ključnu ulogu u stvaranju realističnih VR iskustava. Ova komponenta omogućava virtualnim objektima da reagiraju na korisničku interakciju na način koji je intuitivan i prirodan, uzimajući u obzir zakone gravitacije, dinamiku tijela i druge fizičke aspekte. Interakcija i upravljanje su također ključni elementi. Softver omogućava korisnicima da interagiraju s virtualnim objektima i okruženjem putem različitih metoda, uključujući kontrolere, gestikulaciju i glasovne naredbe. Ova komponenta omogućava korisnicima da aktivno sudjeluju u virtualnom svijetu, dodajući dubinu iskustvu [16]. Optimizacija performansi je nužna zbog postizanja tekućih i fluidnih VR iskustava. VR zahtijeva visoke performanse računalnog hardvera kako bi osigurao glatko grafičko prikazanje i interakciju u stvarnom vremenu. Softverske komponente se koriste za optimizaciju grafičkog renderinga i procesiranja kako bi se postigla visoka brzina kadrova i minimalno kašnjenje. Integracija haptičke povratne informacije je sve važnija za dodavanje stvarnosti VR iskustvima. Softver omogućava integraciju uređaja za haptički povrat informacija, omogućujući

korisnicima da osjete fizičke senzacije kao vibracije i pritisak tijekom interakcije s virtualnim objektima. Ova komponenta dodatno produbljuje osjećaj prisutnosti i interakcije.

Sofverske komponente djeluju zajedno kako bi stvorile koherentno, uvjerljivo i uranjajuće VR iskustvo. Kroz sinergiju razvojnih okruženja, grafičkog renderinga, praćenja pokreta, simulacije fizičkih zakona, interakcije i optimizacije performansi, korisnici su pozvani da istraže i interagiraju s virtualnim svijetom na način koji dosad nije bio moguć. [16] Kvaliteta i funkcionalnost ovih sofverskih komponenata su od ključne važnosti za stvaranje zadirujućeg i ispunjavajućeg VR iskustva.

Razvoj virtualne stvarnosti predstavlja iznimno dinamično područje koje uključuje široku paletu sofverskih alata i programa, svaki sa svojim specifičnim ulogama u stvaranju autentičnih i uranjajućih VR iskustava. Ovi sofverski resursi omogućavaju razvojnim inženjerima (*developerima*) da oblikuju svijetove, interakcije i priče koji osvajaju korisnike i omogućuju im da zakorače u simulirane stvarnosti kao nikada prije. Često se susreću razvojna okruženja poput Unityja i Unreal Enginea koji pružaju temelje za stvaranje 3D svjetova, interakcija i animacija. S jedne strane Unity, s njegovom pristupačnošću i svestranošću, omogućava developerima da brzo stvaraju VR iskustva koja odražavaju njihovu kreativnost. S druge strane, Unreal Engine impresionira s naprednim vizualnim efektima i moćnim alatima za stvaranje ultra-realističnih okruženja i akcija, pogotovo najnovija verzija, Unreal Engine 5 (Slika 13.), koji dijeli svijet u rešetke te učitava jednu po jednu rešetku kako bi svijet bio što fluidniji, a visoku rezoluciju postiže pomoću 10 milijardi poligona na kojem se dijeli rešetka. [17]



**Slika 13. Screenshot iz igre izradene Unreal Enginom [18]**

Pri stvaranju kompleksnih 3D modela, Blender i Autodesk Maya postaju ključni. Ovi alati omogućavaju oblikovanje virtualnih objekata, likove i okruženja koji će se kasnije integrirati u VR projekte. Kombinacija ovih softvera za modeliranje sa *Substance Painterom* omogućava izradu tekstura i materijala koji daju dubinu i autentičnost objektima, pomažući kreirati uvjerljive svjetove. [19] Ubrzanje VR razvoja omogućuje Adobe Creative Cloud, koji pruža alate za uređivanje slika, stvaranje grafike i video sadržaja. Alati poput Adobe Photoshop, Illustrator, Premiere pro, After Effects, InDesign i Acrobat Pro pomažu prilagoditi vizualni identitet VR iskustva, stvarajući vizualne priče koje osvajaju korisnike i potiču emocionalne reakcije. S obzirom na praktičnost i jednostavnost, SketchUp se često koristi za brzo stvaranje konceptualnih modela i okruženja. Ovaj alat omogućava razvojnim timovima da brzo formiraju osnovne strukture koje će kasnije biti nadograđene u složenija VR iskustva. No, VR se ne svodi samo na vizualne komponente. Softverske komponente, poput SteamVR-a (Slika 14.) i *Oculus Developer Hub*a, pomažu pri snalaženju u virtualnom prostoru, praćenju pokreta, interakciji i optimiranju za specifične uređaje VR.





**Slika 14. Steam VR hub [20]**

S druge strane, VRTK (Virtual Reality Toolkit) služi kao vrijedan alat za razvoj interaktivnih VR aplikacija. Njegova otvorena priroda i pristupčnost omogućuju developerima da brže implementiraju ključne aspekte VR iskustava, kao što su praćenje pokreta i interakcija. [21]

Na kraju, sve ove komponente su povezane i usklađene kako bi se stvorilo uranjajuće, autentično i duboko zadovoljavajuće VR iskustvo. Kroz razvojna okruženja, grafički rendering, modeliranje, simulaciju fizičkih zakona, interakciju, optimizaciju i integraciju haptičke povratne informacije, stvara se VR sadržaj koji potiče korisnike na istraživanje i interakciju s virtualnim svijetom na potpuno nov način.

Kvaliteta i funkcionalnost ovih softverskih komponenti igraju ključnu ulogu u oblikovanju VR iskustava koja ostvaruju njihov pun potencijal. Kroz kreativnost, inovaciju i integraciju različitih alata, developeri su u mogućnosti stvarati VR sadržaj koji ne samo što osvaja korisnike, već ih i uranja u svijetove koji potiču maštovitost, interakciju i otkrivanje novih dimenzija stvarnosti.

## 4. PRIMJENA VIRTUALNE STVARNOSTI

Dok su počeci virtualne stvarnosti uglavnom bili vezani uz industriju zabave i igara, njene primjene su danas mnogo raznovrsnije. U radnom okružju, virtualna stvarnost donosi revolucionarne mogućnosti za povećanje produktivnosti, olakšavanje suradnje i obuke te sve više postaje ključan alat za transformaciju radnih procesa i unapređenje poslovnih performansi. Uz mogućnost stvaranja simulacija, realističnih okruženja i interaktivnih iskustava, VR pruža nov način razmišljanja o tome kako se poslovi obavljaju, kako se uči i kako se surađuje. Ova raznovrsnost primjena u poslovnom okružju otvara put za kreativno iskorištavanje VR tehnologije kako bi se postigla veća učinkovitost, bolje obuke i inovativnije suradnje. U nastavku će biti istražena upotreba virtualne stvarnosti u radnom kontekstu, otvarajući poglavlje novih perspektiva i potencijala za unapređenje profesionalnog iskustva.

### 4.1. Primjena virtualne stvarnosti sa svrhom edukacije radnika

Primjena virtualne stvarnosti u svrhu edukacije radnika predstavlja revolucionaran pristup obrazovanju i usavršavanju zaposlenika. Ova tehnologija otvara nove horizonte za učenje i trening, omogućavajući zaposlenicima da steknu vještine i znanja na interaktivan, realističan i angažirajući način. Kroz simulacije, simulirana okruženja i praktično iskustvo, VR postavlja nove standarde za efikasnost, sigurnost i učinkovitost obuke u radnom okružju. VR edukacija zaposlenika pruža niz prednosti. Prvo, omogućava radnicima da uče u kontroliranom okruženju gdje mogu ponavljati vježbe, eksperimentirati i donositi odluke bez stvarnih posljedica. Na primjer, tehničari mogu vježbati održavanje opreme ili dijagnostiku kvara u virtualnom okruženju, što smanjuje rizik od stvarnih pogrešaka. Također, VR obuka omogućava personalizirano iskustvo. Svaki zaposlenik može ići kroz obuku u svojem tempu i fokusu, što

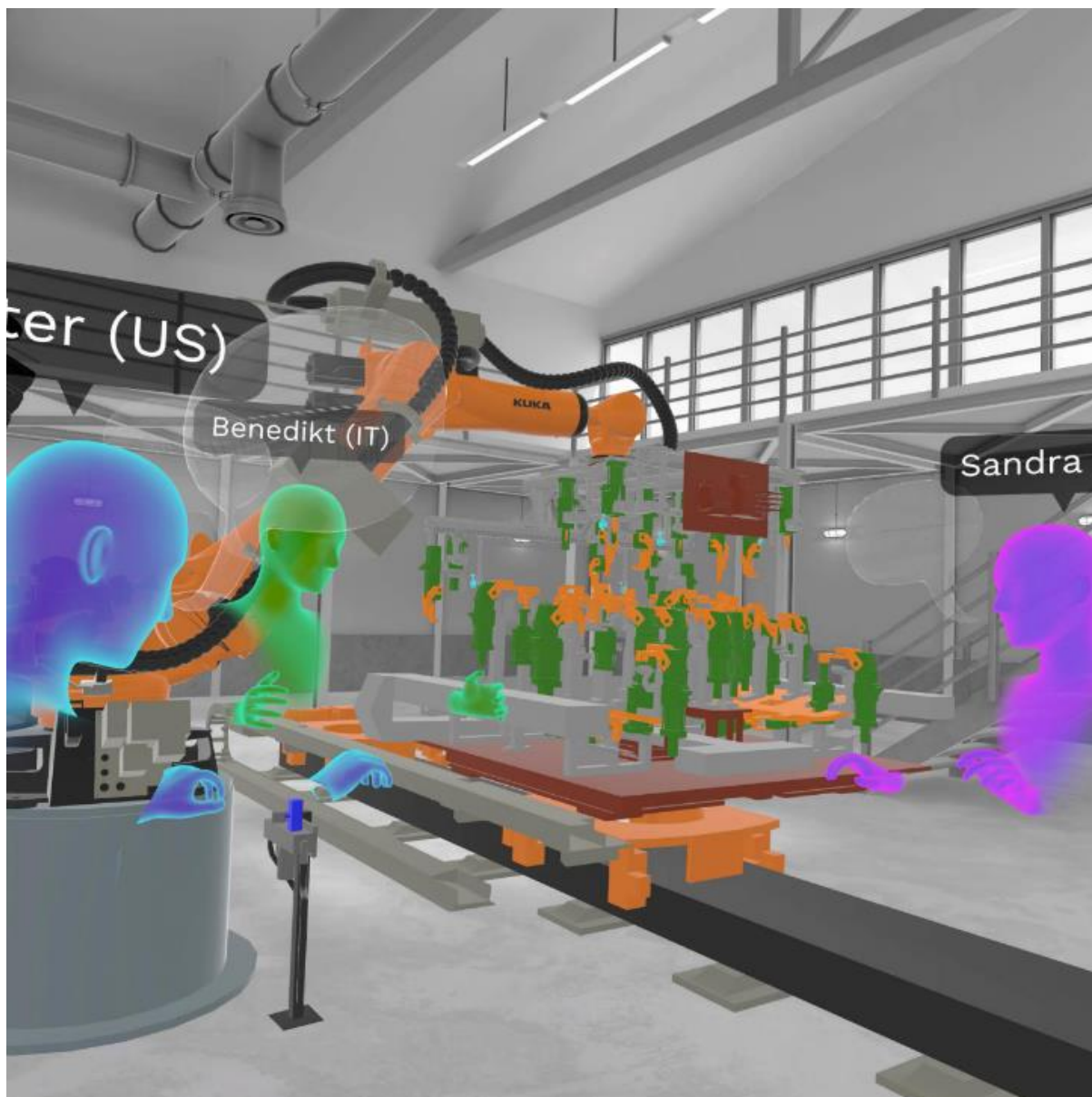
osigurava bolje razumijevanje. Osim toga, kompleksni koncepti mogu se prikazati na vizualno privlačan način, olakšavajući razumijevanje apstraktnih informacija. [22]

Primjena VR-a u edukaciji radnika posebno je vrijedna u sektorima gdje se susreću opasne situacije ili skupi resursi. Radnici u nuklearnim elektranama ili industriji nafte i plina mogu se trenirati za postupke u slučaju hitnih situacija bez izloženosti stvarnom riziku. Ovo pomaže povećati njihovu spremnost za intervenciju u kriznim trenucima. Primjeri primjene VR-a u edukaciji radnika su mnogobrojni. Od medicinske obuke, gdje se kirurzi, pomoću haptičkih uređaja mogu vježbati na virtualnim pacijentima (Slika 15.), do industrije proizvodnje, gdje se tehničari mogu upoznati s procesima montaže ili održavanja.



**Slika 15. Edukacija pomoću haptičkih rukavica [24]**

Posebno valja istaknuti primjena virtualne stvarnosti (VR) u montaži, jer predstavlja inovativan način unapređenja procesa montiranja, u vidu omogućavanja preciznije i učinkovitije montažne složenih sklopova. Umjesto tradicionalnih metoda obuke koje uključuju priručnike ili klasične radionice, VR omogućava radnicima da iskuse montažne korake u virtualnom okruženju (Slika 16.).



**Slika 16. Montaža u virtualnom prostoru [25]**

Na primjer, tehničari koji se bave složenim uređajima ili strojevima mogu koristiti VR naočale kako bi korak po korak prolazili kroz proces montaže. Ovo omogućava radnicima da steknu praksu i razumijevanje postupaka prije nego što krenu na stvarni proizvodni područje, smanjujući vjerojatnost pogreške i povećavajući učinkovitost [26]. Dalje, VR omogućava inženjerima i dizajnerima da virtualno testiraju montažne procese prije nego što se fizički proizvodi naprave. Kroz simulacije, moguće je identificirati moguće probleme ili konflikte koji bi mogli nastati tijekom montaže, na primjer, proizvodni tim može vizualizirati kako će se dijelovi sklapati, kako će se pristupiti određenim komponentama ili koje alate će biti potrebno koristiti. Ovo doprinosi boljem planiranju montaže, smanjenju zastoja i optimizaciji



proizvodnog procesa. Ovaj novi pristup pomaže smanjiti troškove i vrijeme potrebno za montažu, dok istovremeno povećava kvalitetu proizvoda. Kroz ovo udruživanje stvarnog i virtualnog svijeta, montaža postaje preciznija, učinkovitija i inovativnija. [26]

## 4.2. Primjena virtualne stvarnosti u sklopu projektiranja proizvoda i sustava

Primjena virtualne stvarnosti (VR) u sklopu projektiranja i inženjeringa predstavlja revolucionarni korak prema unaprjeđenju dizajna, razvoja i testiranja različitih proizvoda i sustava. Ova tehnologija omogućava inženjerima, arhitektima i dizajnerima da stvaraju, vizualiziraju i optimiziraju svoje projekte na potpuno nov način. Kroz simulacije, interaktivne modele i praktično iskustvo, VR mijenja način kako se kreativnost i tehničke vještine kombiniraju kako bi se postigao vrhunski rezultat [27]. Jedna od ključnih prednosti primjene VR-a u projektiranju i inženjeringu je mogućnost vizualizacije (Slika 17.). Inženjeri mogu stvoriti virtualne modele svojih proizvoda i sustava te "prošetati se" kroz njih kao da su fizički prisutni. Ovo omogućava rano otkrivanje problema, optimizaciju dizajna i brže donošenje odluka.



Slika 17. Prikaz i šetnja kroz projektirane dijelove [28]

Također, VR omogućava interaktivne simulacije. Inženjeri mogu testirati različite scenarije i uvjete kako bi razumjeli kako će njihov projekt reagirati u stvarnom svijetu. Na primjer, strojar može simulirati veliku iznenadnu udarnu silu na neki spoj i vidjeti kako će spoj i cijeli dio na to reagirati. VR također olakšava suradnju i komunikaciju u timovima, te tako članovi tima mogu virtualno raditi zajedno na istom projektu, dijeliti ideje i komentare te praviti promjene u stvarnom vremenu [27], smanjujući tako potrebu za fizičkim sastancima i ubrzavajući proces donošenja odluka. Primjena VR-a u projektiranju i inženjeringu je široka. U automobilske industriji, inženjeri mogu stvoriti virtualne prototipove vozila i testirati aerodinamiku, performanse, sigurnost, načine montiranja dijelova i same dijelove (Slika 18.).



**Slika 18. Eksplodirani sklop – dijelovi automobila Bugatti [29]**

Primjena VR-a u projektiranju i inženjeringu transformira način kako se kreativnost i tehnologija integriraju kako bi se postigli bolji i inovativniji rezultati. Kroz kombinaciju vizualizacije, simulacija i timskog rada, VR tehnologija postavlja nove standarde za učinkovitost, preciznost i kvalitetu projektiranja i inženjeringa.

### **4.3. Primjena virtualne stvarnosti radi sigurnosti**

Primjena virtualne stvarnosti (VR) u svrhu osiguravanja sigurnosti radnog okružja predstavlja značajan napredak u industriji, pružajući inovativne alate za identifikaciju rizika, obuku za

postupanje u opasnim situacijama i prevenciju nesreća. Uvođenje VR tehnologije u svijet sigurnosti na radu omogućava stvaranje realističnih simulacija koje omogućavaju radnicima da se suoče s potencijalno opasnim scenarijima i steknu praktično iskustvo u rukovanju izazovnim situacijama.

Ova tehnologija ne samo da podiže svijest o važnosti sigurnosti, već i znatno smanjuje rizik te povećava odgovornost zaposlenika prema vlastitoj i tuđoj dobrobiti. U strojarstvu rizične situacije su neizbježne u nekim slučajevima te zbog toga ima velike koristi od primjene VR-a u svrhu sigurnosti. Konkretno, VR pruža mnoštvo primjera koji unaprijeđuju radnu sigurnost i smanjuju rizik. Proživljavanje virtualnog iskustva nesreća i evakuacija postaje ključno za pripremu radnika za hitne situacije. Realistične simulacije poput požara, eksplozija ili kemikalija omogućavaju radnicima da se osposobe za brzu i učinkovitu evakuaciju te postupke u slučaju nesreće. Korištenjem VR tehnologije, operateri strojeva mogu vježbati rukovanje teškim strojevima, simulirajući potencijalno opasne situacije. Ovo omogućava razvoj preciznih postupaka zaštite i sigurnosti. Održavanje i popravci strojeva često su podložni riziku ozljeda ili komplikacija. VR omogućava radnicima da se obuče za takve zadatke putem simulacija, čime se eliminira stvarna opasnost. Posebno, rad na visini često nosi sa sobom velike rizike. Kroz VR, radnici mogu iskusiti virtualno rad na krovovima, tornjevima i platformama te naučiti sigurne postupke i protokole rada. [30] Radnici u industriji često imaju interakciju s kemikalijama i opasnim tvarima. Upotreba VR-a omogućava simuliranje tih situacija, omogućujući radnicima da razumiju i primijene sigurnosne protokole rukovanja. Inženjeri također koriste VR za procjenu potencijalnih opasnosti i rizika pri projektiranju industrijskih postrojenja. Ovaj pristup omogućava ranu identifikaciju problema i implementaciju sigurnosnih mjera. Nadalje, kroz VR, radnici se mogu obučavati za pružanje prve pomoći u slučaju ozljeda. Realistične simulacije omogućavaju praktično iskustvo prije nego što se suoče s realnim hitnim situacijama. Dakle, primjena virtualne stvarnosti u svrhu sigurnosti radnog okružja unosi revoluciju u način na koji se radnici pripremaju za opasne situacije u industriji strojarstva. Kroz realistične simulacije, interaktivne treninge i praktično iskustvo, VR tehnologija pomaže smanjiti rizik od ozljeda i nesreća te stvara okruženje koje promiče visoke standarde radne sigurnosti. [31]

#### 4.4. Primjena virtualne stvarnosti za upravljanje proizvodnjom

Upravljanje proizvodnjom i distribucijom je ključan aspekt svake industrije. Tradicionalno, ovaj proces je zahtijevao kompleksne analize, planiranje i praćenje kako bi se osigurala efikasnost, kvaliteta i isporuka proizvoda učinkovito i na vrijeme. Međutim, s pojavom virtualne stvarnosti (VR), paradigma upravljanja proizvodnjom doživljava revoluciju. VR donosi nove načine razmišljanja i pristupe upravljanju proizvodnjom, omogućavajući stvaranje interaktivnih i intuitivnih okruženja za analizu, planiranje i optimizaciju proizvodnih procesa [32]. Jedna od ključnih prednosti korištenja VR-a u upravljanju proizvodnjom je sposobnost stvaranja virtualnih simulacija proizvodnih postrojenja i procesa (Slika 12.).



**Slika 12. Projektiranje proizvodnog sustava pomoću VR-a [33]**

Voditelji proizvodnje i inženjeri mogu virtualno "prošetati" kroz postrojenje, pratiti tokove materijala, identificirati potencijalne prepreke i optimirati raspored opreme. Ova simulacija omogućava rano otkrivanje problema i nudi mogućnost eksperimentiranja s različitim scenarijima kako bi se pronašla najbolja rješenja. Pored toga, VR omogućava stvaranje interaktivnih modela proizvoda i komponenata. Inženjeri mogu koristiti VR za detaljno



ispitivanje dizajna, sklopova i funkcionalnosti proizvoda. Ovo pomaže u otkrivanju potencijalnih problema prije nego što proizvod uopće uđe u fazu proizvodnje, čime se štede resursi i smanjuje potreba za iteracijama u kasnijim fazama proizvodnje [34]. Upravljanje proizvodnjom također uključuje praćenje stvarnih performansi postrojenja. U ovom području, VR omogućava stvaranje *real-time* vizualizacija proizvodnih procesa. Voditelji proizvodnje mogu pratiti učinkovitost proizvodnje, analizirati statistike i detektirati potencijalne prekide u stvarnom vremenu. Ovo pomaže u donošenju brzih, i na osnovi kvalitetnih informacija, utemeljenih odluka kako bi se minimirali zastoji i povećala ukupna produktivnost.

Upravljanje lancem opskrbe također dobiva značajnu korist od VR-a. Distribucijski centri i skladišta mogu koristiti VR za optimizaciju rasporeda i skladištenja dobara. Upravitelji mogu virtualno organizirati skladište (Slika 20.) kako bi pronašli najbolje načine za pohranu i brzo pronalaženje proizvoda.

Iako primjena VR-a u upravljanju proizvodnjom donosi mnoge prednosti, treba istaknuti da postoji i potreba za ulaganjem u tehnologiju, obuku zaposlenika i integraciju VR sustava u postojeće poslovne procese. Unatoč tome, potencijalna korist u vidu povećanja efikasnosti, smanjenja troškova i poboljšanja kvalitete proizvoda čini ovu investiciju vrijednom.

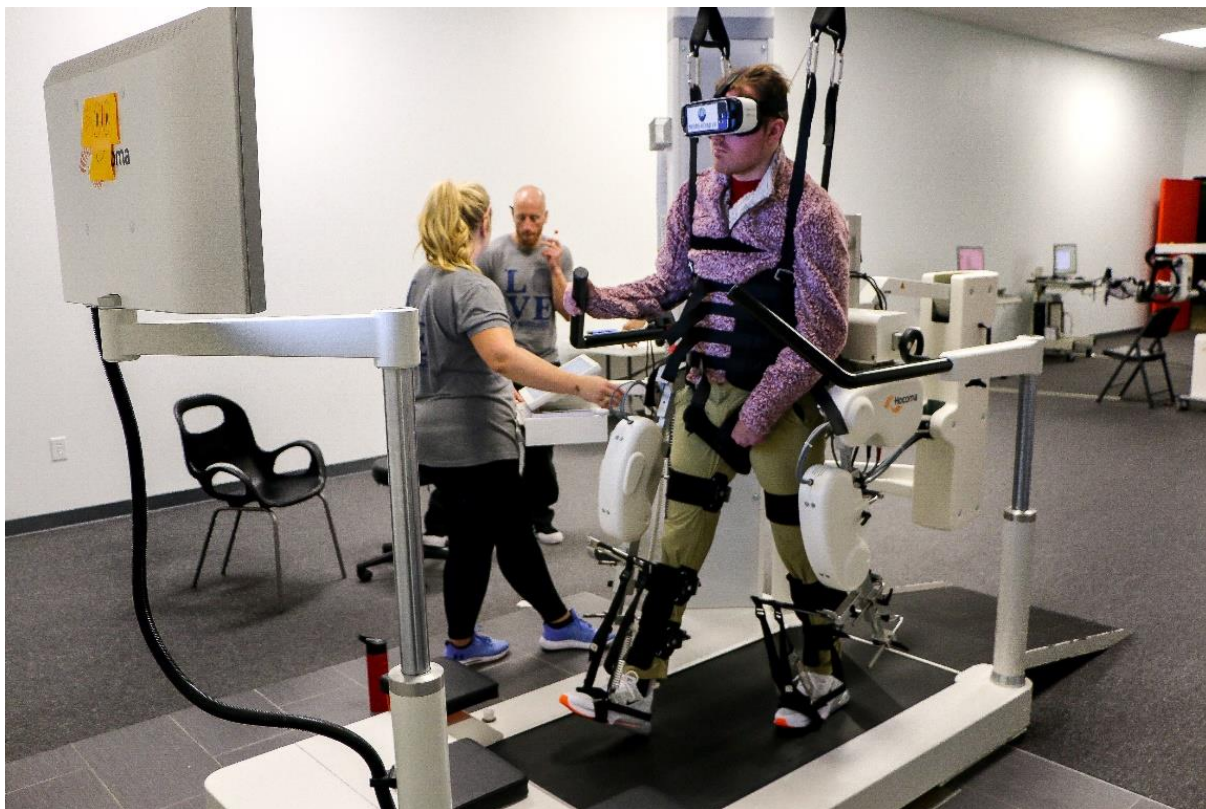


Slika 13. Upravljanje skladištem [35]

Dakle, virtualna stvarnost mijenja način na koji se klasično upravlja proizvodnjom. Kroz stvaranje simulacija, interaktivnih modela i *real-time* vizualizacija, VR pruža novi nivo razumijevanja i kontrole nad proizvodnim procesima. Sve ovo zajedno ima potencijal da podigne učinkovitost, kvalitetu i konkurentске prednosti organizacija koje se odluče iskoristiti ovu inovativnu tehnologiju za upravljanje svojom proizvodnjom.

#### **4.5. Primjena virtualne stvarnosti u medicini**

Spoj virtualne stvarnosti (VR) i haptičkih tehnologija predstavlja inovativan pristup koji može revolucionirati medicinu i zdravstvo. Ova kombinacija, često nazvana haptička virtualna stvarnost, donosi stvarni dodir i fizičku interakciju u virtualne okoline, pružajući dublje i realističnije iskustvo. Primjena ove tehnologije u medicini ima širok spektar mogućnosti koje sežu od obuke kirurga i liječnika do rehabilitacije, upravljanja boli i mentalne terapije. Jedno od ključnih područja primjene haptičke VR tehnologije u medicini je kirurška simulacija i obuka [36]. Kroz haptičke povratne informacije, kirurzi i polaznici obuke mogu iskusiti osjećaj otpora tkiva, pritiska i drugih taktilnih osjeta tijekom virtuelnih kirurških simulacija (Slika 15.). Ova vrsta realistične obuke omogućuje bolju pripremu za stvarne kirurške zahvate, poboljšava vještine i spretnost te smanjuje rizik od pogrešaka. Osim toga, haptička VR tehnologija pruža značajne prednosti u rehabilitaciji i fizikalnoj terapiji. Pacijenti koji se oporavljaju od ozljeda ili operacija mogu izvoditi vježbe (Slika 14.) osjećajući otpor i pritisak, što pomaže u jačanju mišića i bržem oporavku.



**Slika 14. VR u sklopu rehabilitacije [36]**

Dodavanje haptičke komponente vježbama poboljšava motivaciju pacijenata i omogućuje terapeutima da preciznije prilagode terapiju. U području upravljanja boli, kombinacija VR-a i haptičkih tehnologija pruža novi pristup olakšavanju boli i tjeskobe. Pacijenti se mogu uroniti u virtualna okruženja koja ih odvlače od boli, dok istovremeno osjećaju taktilne senzacije koje im pomažu zadržati pozornost na pozitivnom iskustvu. [37] Također, osim bržeg oporavka za tjelesne ozljede, korištenje VR-a se širi i na terapije za mentalno zdravlje. VR omogućava terapeutima da stvore kontrolirano okruženje u kojem pacijenti mogu se suočiti lakše i u sigurnijem okruženju sa svojim strahovima, traumama i anksioznošću. Do najuspješnijih rezultata je došlo pri liječenju PTSP-a (postraumatski stresni poremećaj) (Slika 15.), gdje pacijent može „pomoću VR-a, opet prolaziti kroz scenarije koji su povezani s njihovim traumatičnim iskustvima, ali u sigurnom okruženju terapijske sobe“. [38]





**Slika 15. Terapija PTSP-a pomoću VR-a [39]**

Kombinacija virtualne stvarnosti i haptičkih tehnologija predstavlja značajan napredak u medicini i zdravstvu. Ova tehnološka simbioza omogućava stvarniji i sveobuhvatniji pristup obuci, rehabilitaciji, dijagnostici te upravljanju boli i tjeskobi. Kako tehnologija nastavlja napredovati, očekuje se da će haptička VR postati neizostavni alat za unaprjeđenje skrbi o pacijentima i obuku medicinskog osoblja, otvarajući put ka sve boljem razumijevanju i liječenju medicinskih izazova. Također, korištenje virtualne stvarnosti za mentalnu terapiju predstavlja inovativan i efikasan način za suočavanje s raznim psihičkim izazovima. Kroz simulacije, virtualne scenarije i postupno izlaganje, VR terapija pruža pacijentima mogućnost da rade na svojim emocionalnim problemima na interaktivan i siguran način. Ovaj spoj tehnologije i terapije otvara nove perspektive za poboljšanje mentalnog zdravlja i kvalitete života.



## 5. POKUS U VEZI MOGUĆNOSTI PRIMJENE VR PRI OPERACIJI NOSA

U ovom poglavlju prikazuje se pokus obavljen pomoću naočala HTC Vive 1 [9 i 10]. Namjera je pokusa postaviti osnove za istraživanje primjene VR u operacijama u području otorinolaringologije (ORL – uho-nos-grlo (uviježeno pak u nas: uho-grlo-nos)), konkretno u ovom slučaju zahvata na nosu [40].

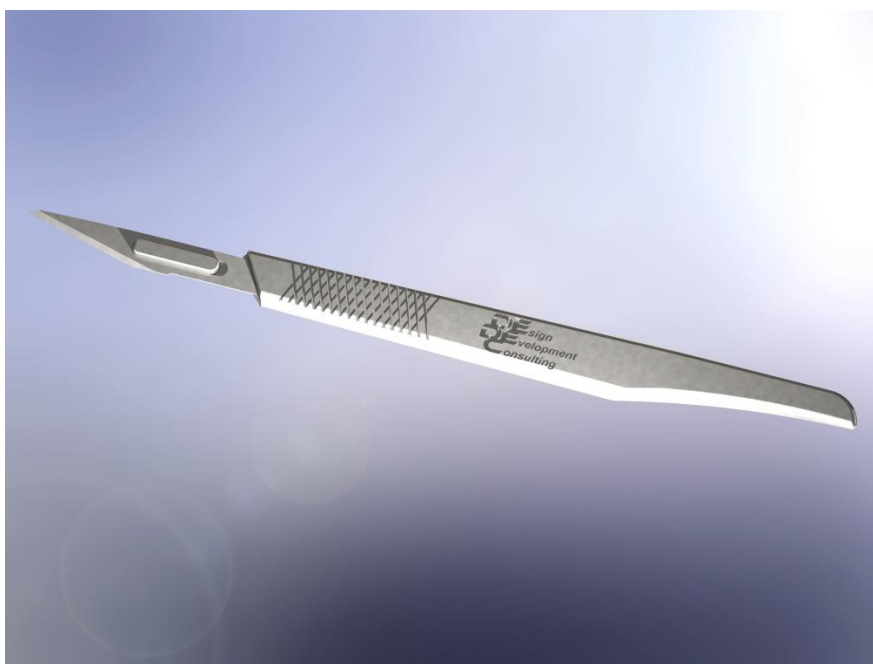
Pokus se odnosi na operaciju nosa *rinoplastika* [41]. Svrha ovog zahvata je premještanje hrskavice u nosu radi estetskih razloga, ili zbog pacijentovih poteškoća u dišnim putevima – tada se zahvat naziva septoplastika [41]. Uspješno oblikovanje pokusa moglo bi poslužiti za edukaciju i analizu rada kirurga.

Za pokus su 3D modeli glave (Slika 16.), skalpela (Slika 17.) i operacijskog stola (Slika 18.), preuzeti sa stranice GrabCAD [42 i 44]. U tablici 2. su prikazane gabaritne mjere 3D modela elemenata korištenih za pokus.

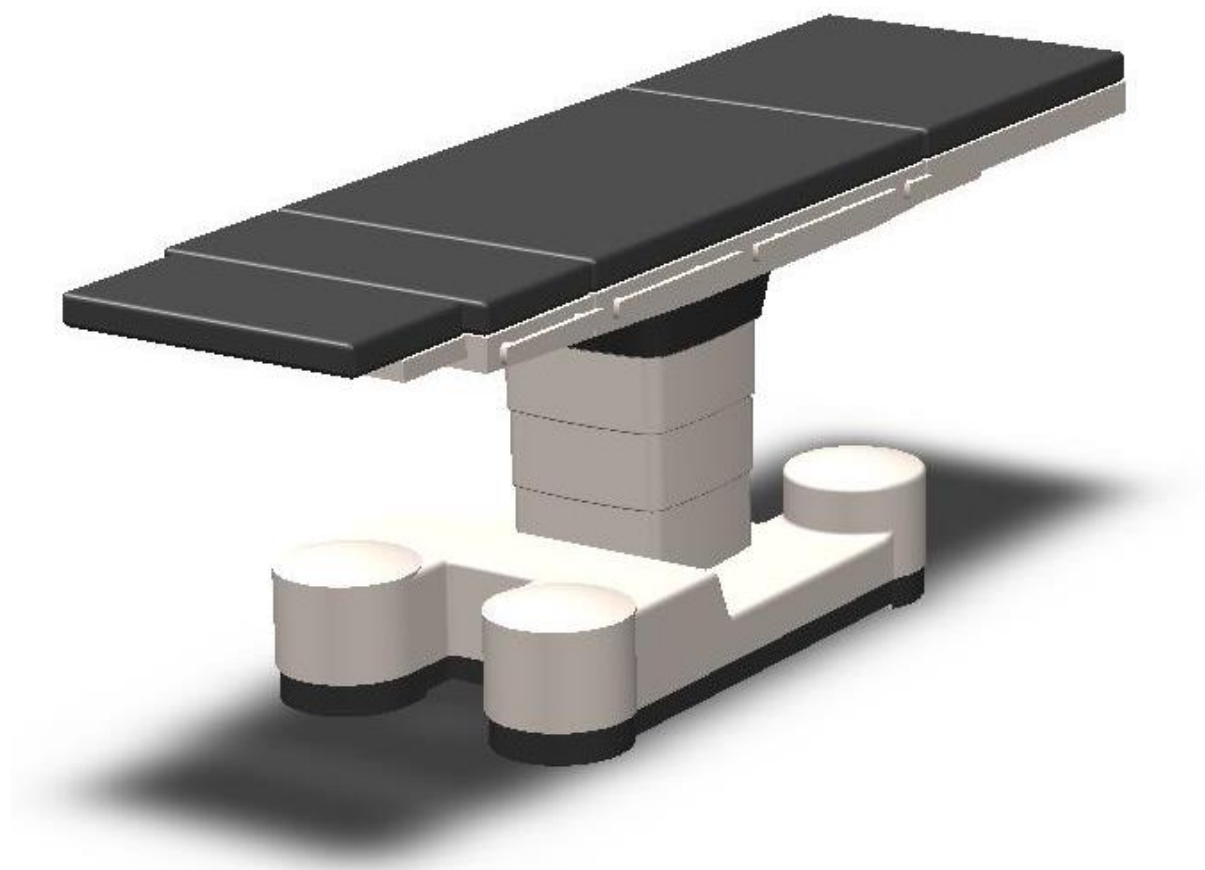
Pokus je počeo spajanjem hardverskih dijelova. Senzori (Slika 8.) se spajaju na struju u dva suprotna kraja radne prostorije (Slika 19.), kako bi barem jedan senzor cijelo vrijeme pokrивao pokrete i prepoznao naočale (Slika 7.) i kontrolere (Slika 8.) uz minimalno ograničenje prostorije od 2 x 1,5 m. Pomoću kontrolera se crta zamišljena linija sigurnog radnog prostora u kojem se može ostvariti kretanje bez sudaranja s ikakvom preprekom (Slika 20.).



**Slika 16. Render 3D modela glave [42]**



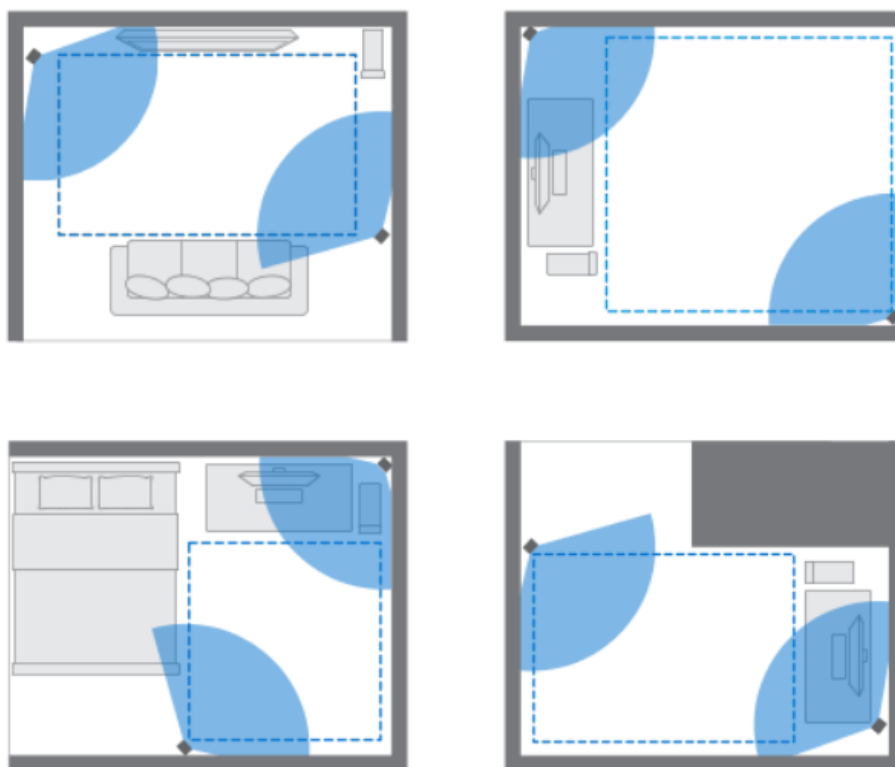
**Slika 17. Render 3D modela skalpela [43]**



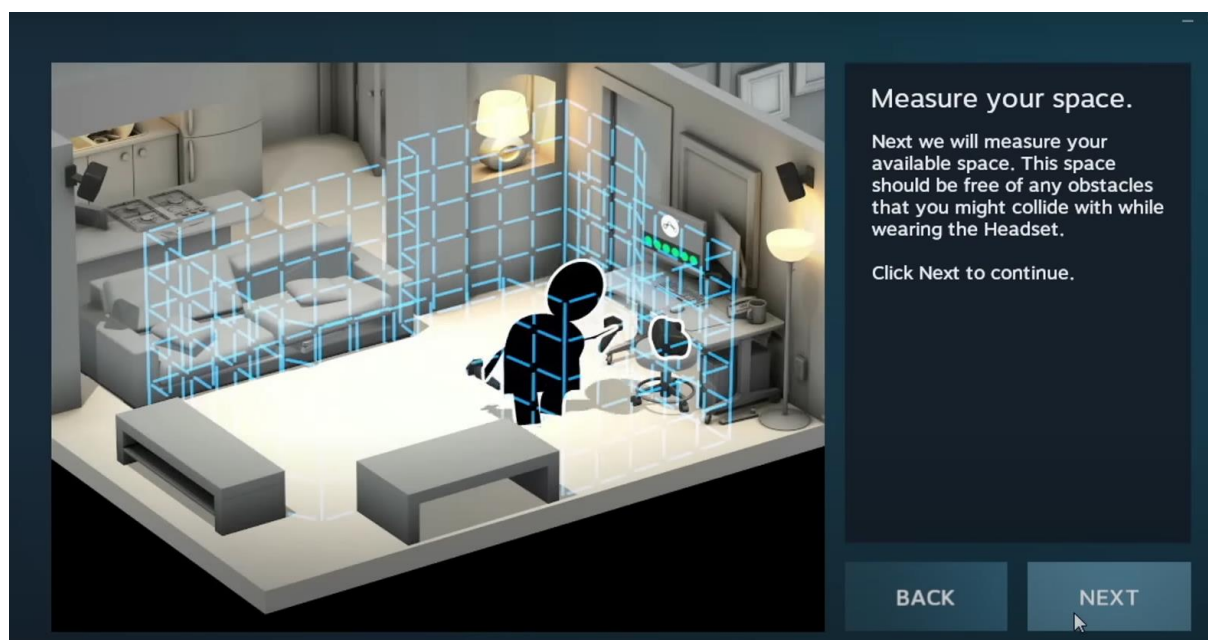
Slika 18. Render 3D modela operacijskog stola [44]

Tablica 2. Gabaritne mjere 3D modela [42 do 44]

Komponenta\Dimenzije, mm	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
glava	194	176,2	24,1
operacijski stol	2140	950	590
skalpel	20	125	5

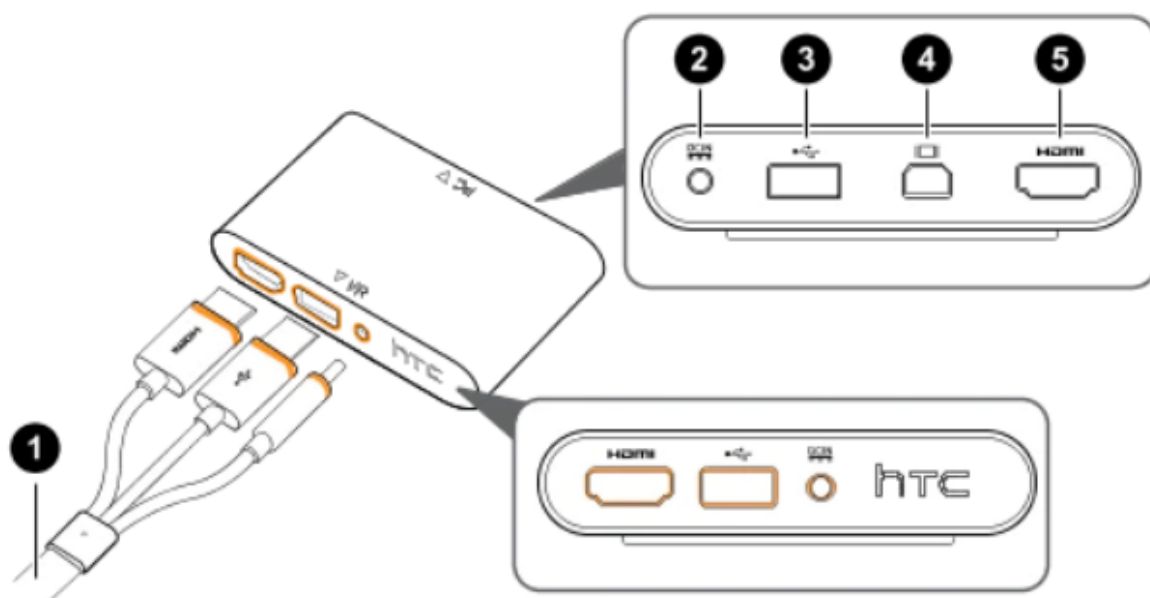


Slika 19. Primjeri postava senzora u radnom prostoru [45]



Slika 20. Crtanje opsega radne površine [46]

Uređaj koji služi kao posrednik između računala i naočala se naziva *link box* (Slika 21.). Uređaj se spaja na struju, koju ujedno prosljeđuje naočalama. Također pomoću HDMI i USB port-a se omogućuje prijenos slike odnosno razmjenu podataka između računala i naočala [47]. Usto *link box* omogućava komunikaciju između senzora kontrolera i naočala pomoću tehnologije *bluetooth*.



Slika 21. *Link box* [47]

Iz *link boxa* u računalo se spajaju USB i HDMI kablovi te su uređaji, s hardverske strane, spremni za rad. Naime za pokretanje naočala i virtualnog svijeta, potrebni su softveri koji to omogućavaju poput SteamVR i VIVEPORT. Ovi softveri služe kao korisnikova radna površina (Slika 22.) kada uđe u virtualni svijet, s koje može otvarati raznorazne aplikacije, promijeniti neke temeljne postavke vezane uz korištene uređaje, poput rezolucije prikaza koji se želi imati u naočalama ili pak brzina kojom se može hodati kroz virtualni prostor.



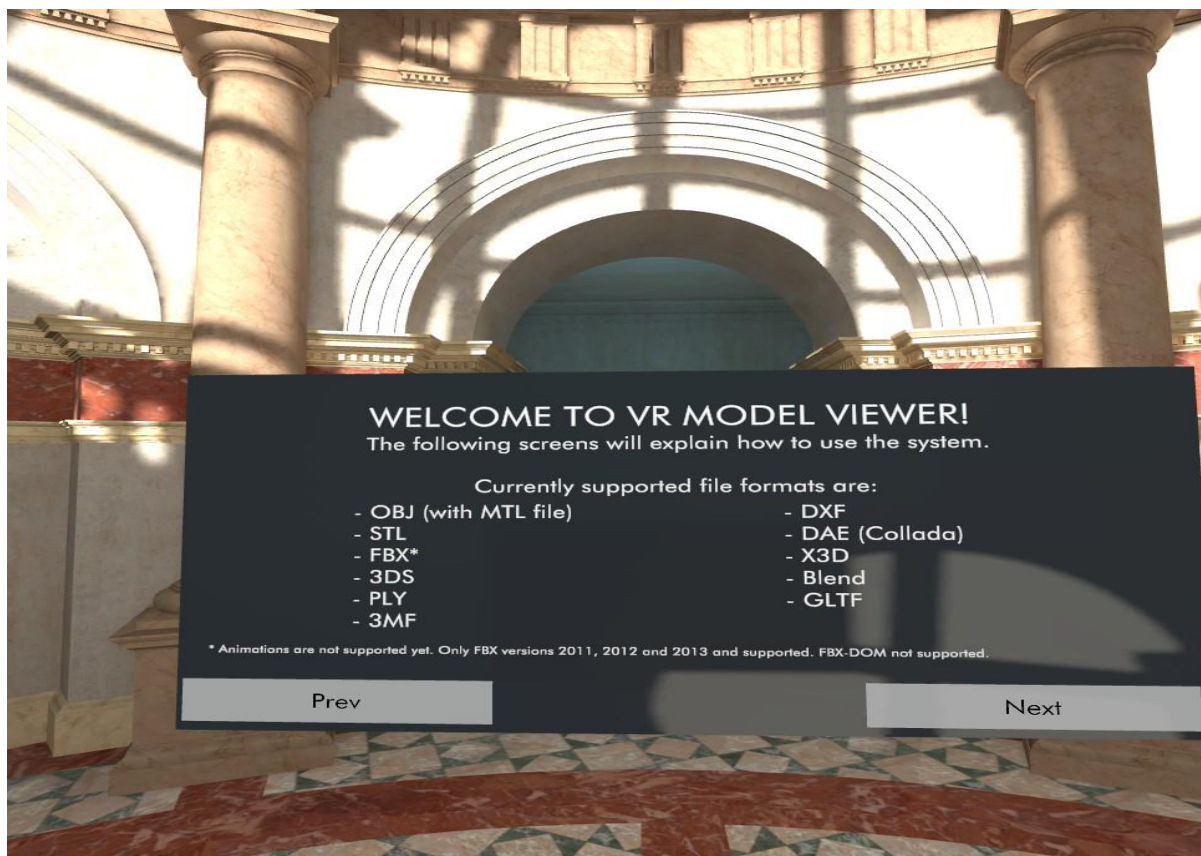
**Slika 22. SteamVR – radna površina**

S radne površine se ušlo u aplikaciju za pregled, manipuliranje i izmjenjivanje 3D modela, VR Model Viewer. Kada se aplikacija učita, prostor koji se stvara nalikuje na predvorje, tj. prostoriju koja služi kao izbornik za kretanje unutar aplikacije (Slika 23.), unutar kojeg se može odabrati okoliš u koje se želi učitati (vlastite) 3D modele. Također se pojavljuje i kratki *tutorial* kako se aplikacija koristi i koji se format *fileova* može ubaciti u aplikaciju (Slika 24.).



Slika 23. Izbornik za biranje okoliša

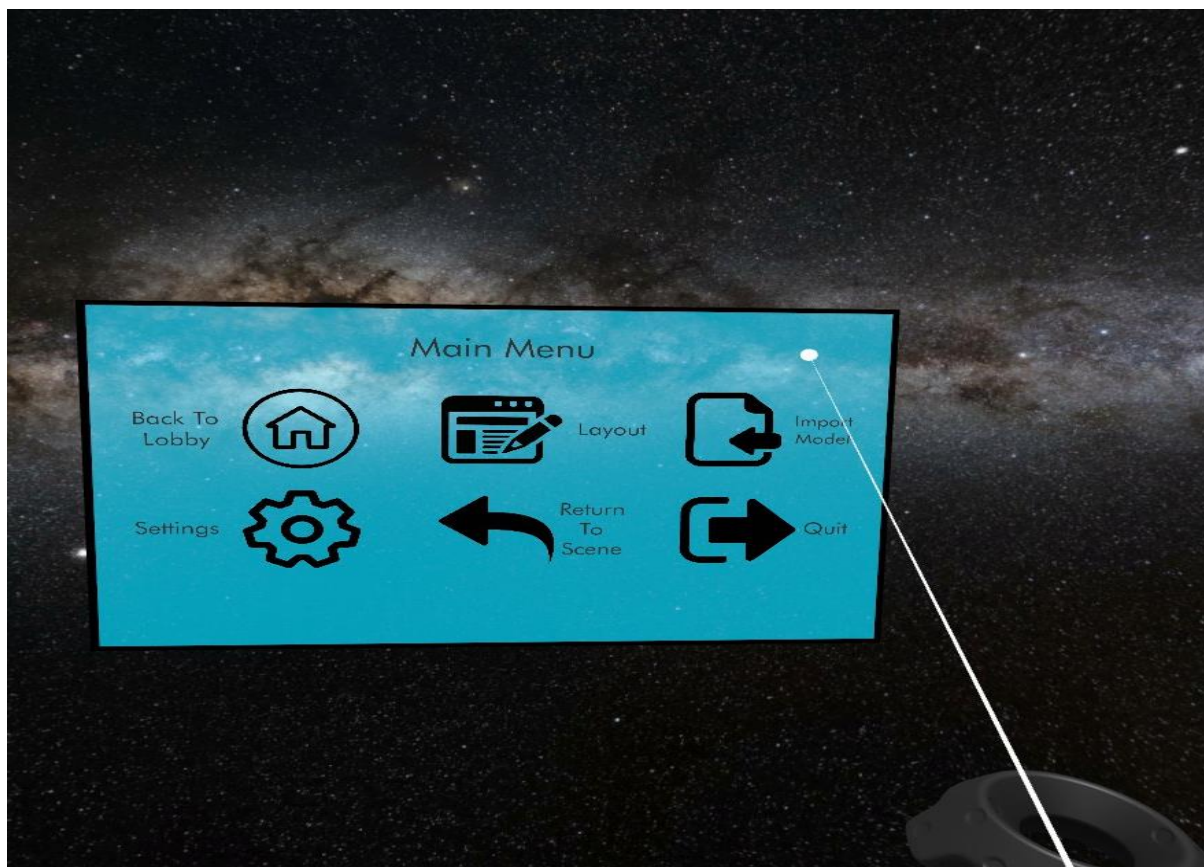




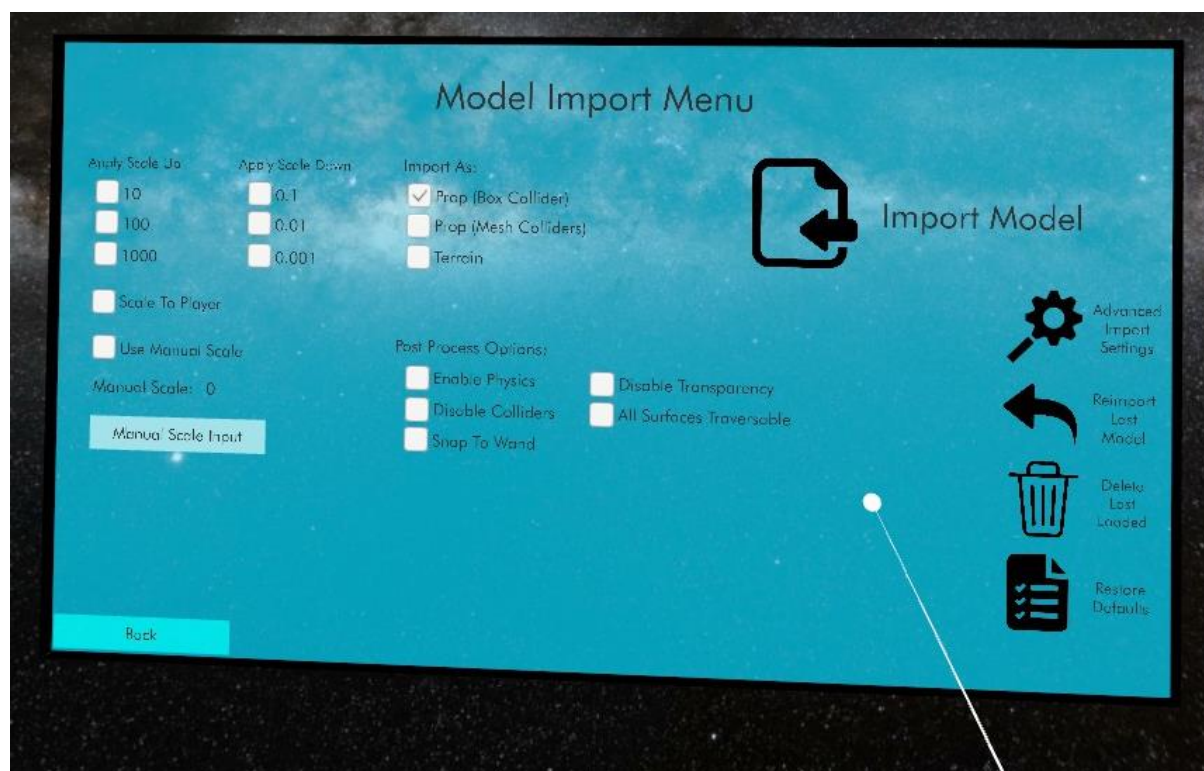
**Slika 24. Popis podržanih datoteka**

U ovom pokusu odabran je standardan bijeli okoliš radi bolje preglednosti modela u prostoru. Za ubacivanje modela u prostor koristi se naredba *import* nakon ulaska u glavni izbornik (Slika 25.), koja omogućava odabir modela kojeg se želi vidjeti u prostoru iz datoteke na računalu a također i sitne promjene poput povećanja ili smanjenja modela po multiplikatoru koji može biti ručno unešen ili jedan od standardnih ponuđenih (Slika 26.). Pronalaženje modela se vrši preko pretraživanja datoteka u računalu (Slika 27.). Nakon ubacivanja modela u prostor, nudi se mogućnost manipuliranja koordinatama po tri osi ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) i rotacija oko tih osiji. Tako je u pokusu postavljen prvi potreban model, model operacijskog stola (Slika 28.).

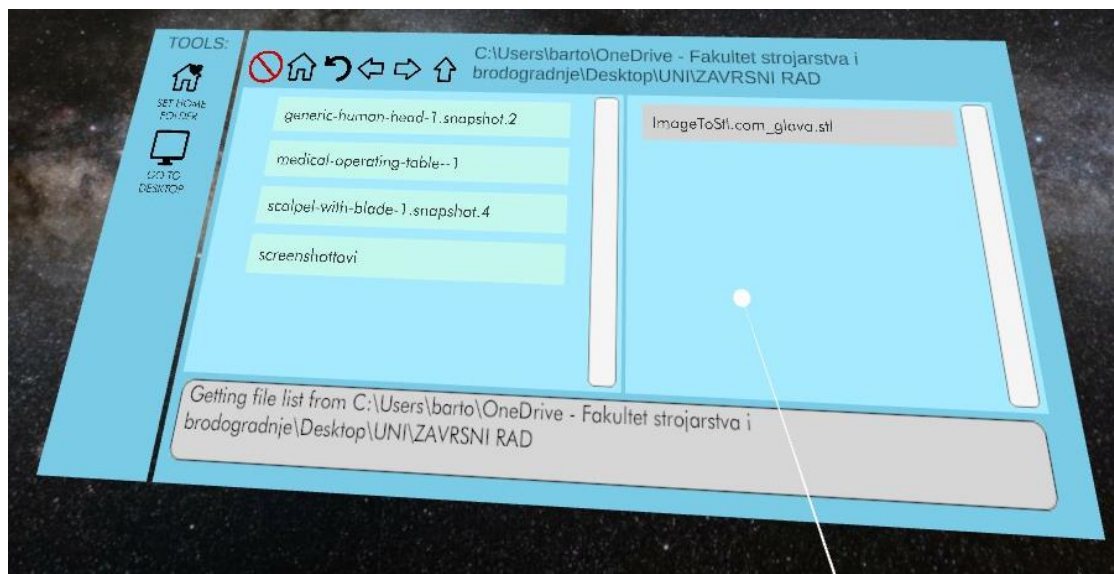




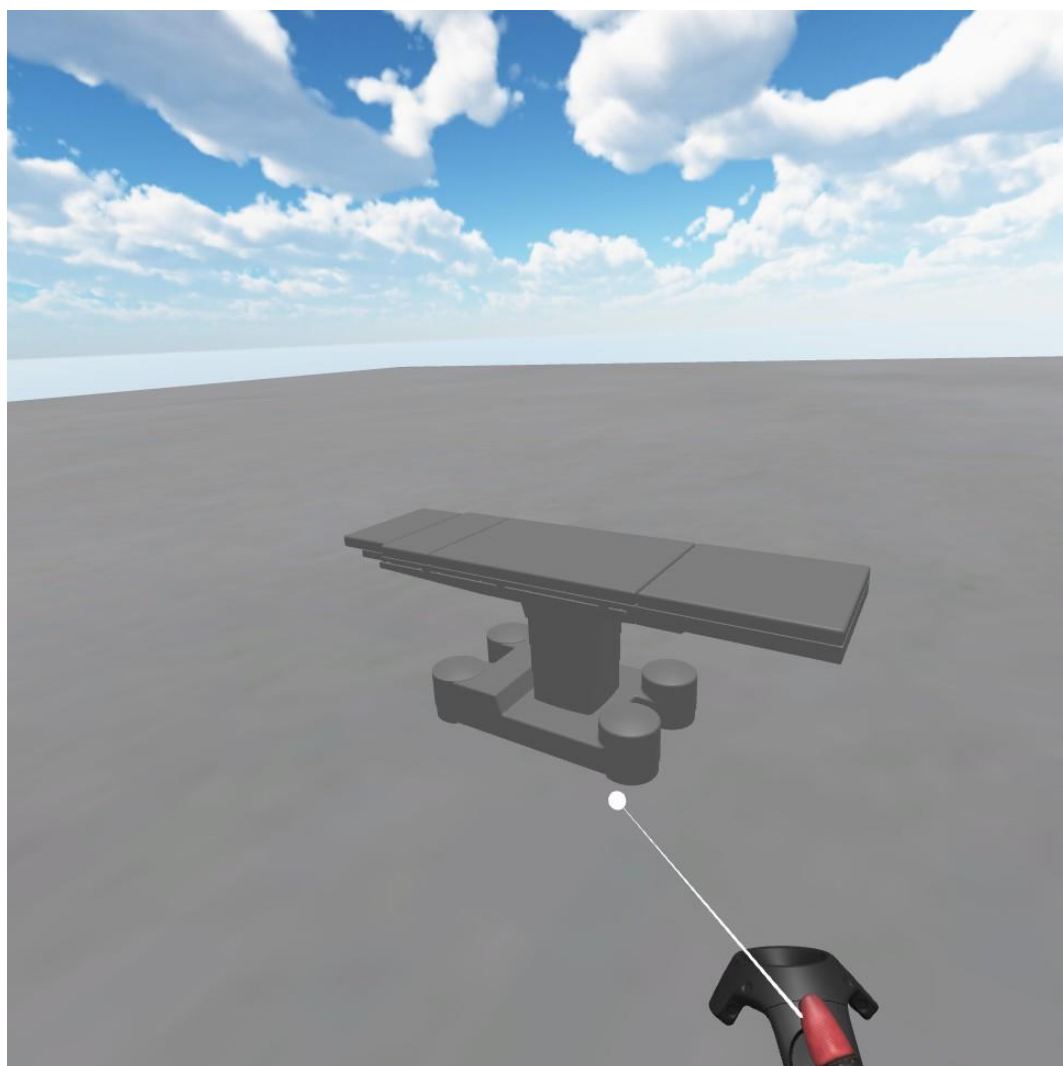
Slika 25. Glavni izbornik



Slika 26. Izbornik za ubacivanje 3D modela



Slika 27. Odabir željenog modela



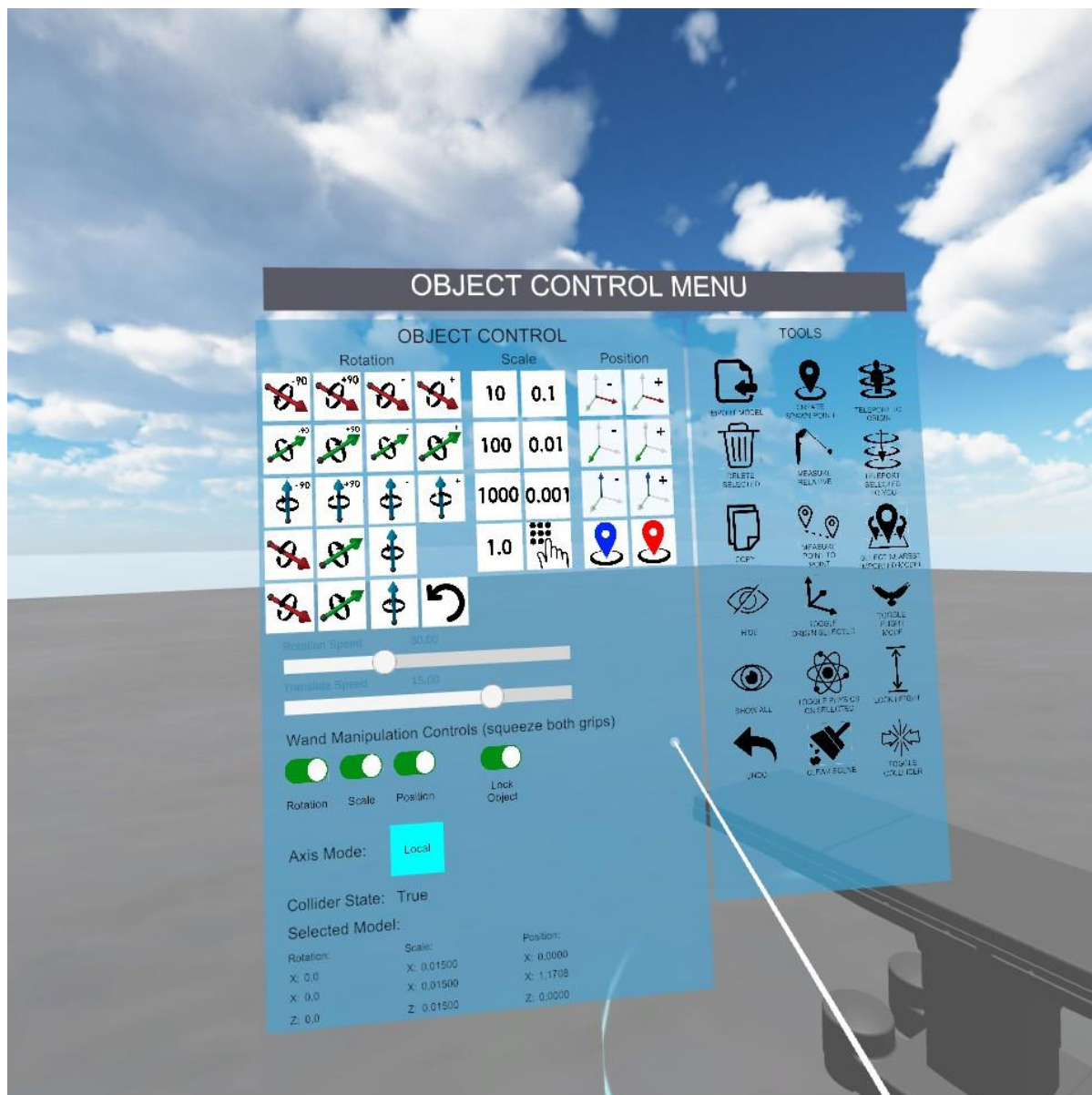
Slika 28. Operacijski stol u virtualnoj okolini

Nakon ubacivanja stola, slijedilo postavljanje koordinata u odnosu na ishodišnu točku sustava (Slika 29.) i nakon zadovoljavajuće pozicije, fiksiranje u prostoru da se ne bi greškom koordinate promijenile (Slika 30.). Isti postupak ubacivanja modela glave se ponavlja, no koordinate su sada postavljene u odnosu i na stol i na ishodišnu točku (Slika 31.). Također i se koordinate glave fiksiraju da ne bi došlo do neželjenog pomaka (Slika 32.).



Slika 29. Koordinate modela stola pri ubacivanju u virtualni prostor





### Slika 30. Fiksiranje modela stola na željenim koordinatama



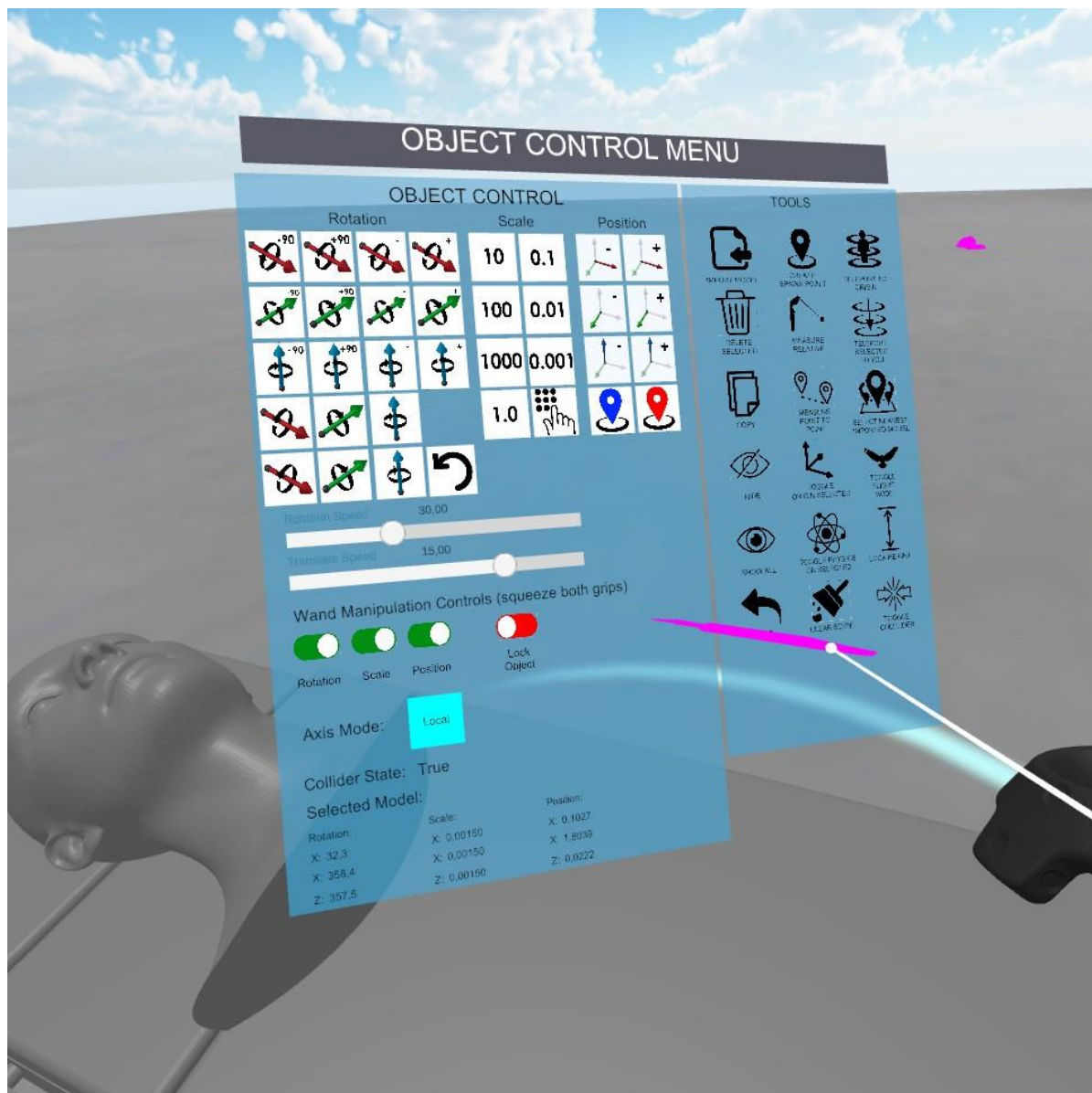
Slika 31. Početne koordinate glave



**Slika 32. Konačne koordinate glave nakon fiksiranja**

Zadnji model koji je potreban prije početka virtualne operacije je model skalpela (Slika 17.). Nakon što se ubaci skalpel u prostor, ostavljaju se „leteće“ koordinate tj. mogućnost manipuliranja skalpelom pomoću kontrolera kao da je u ruci korisnika uređaja (Slika 33.).

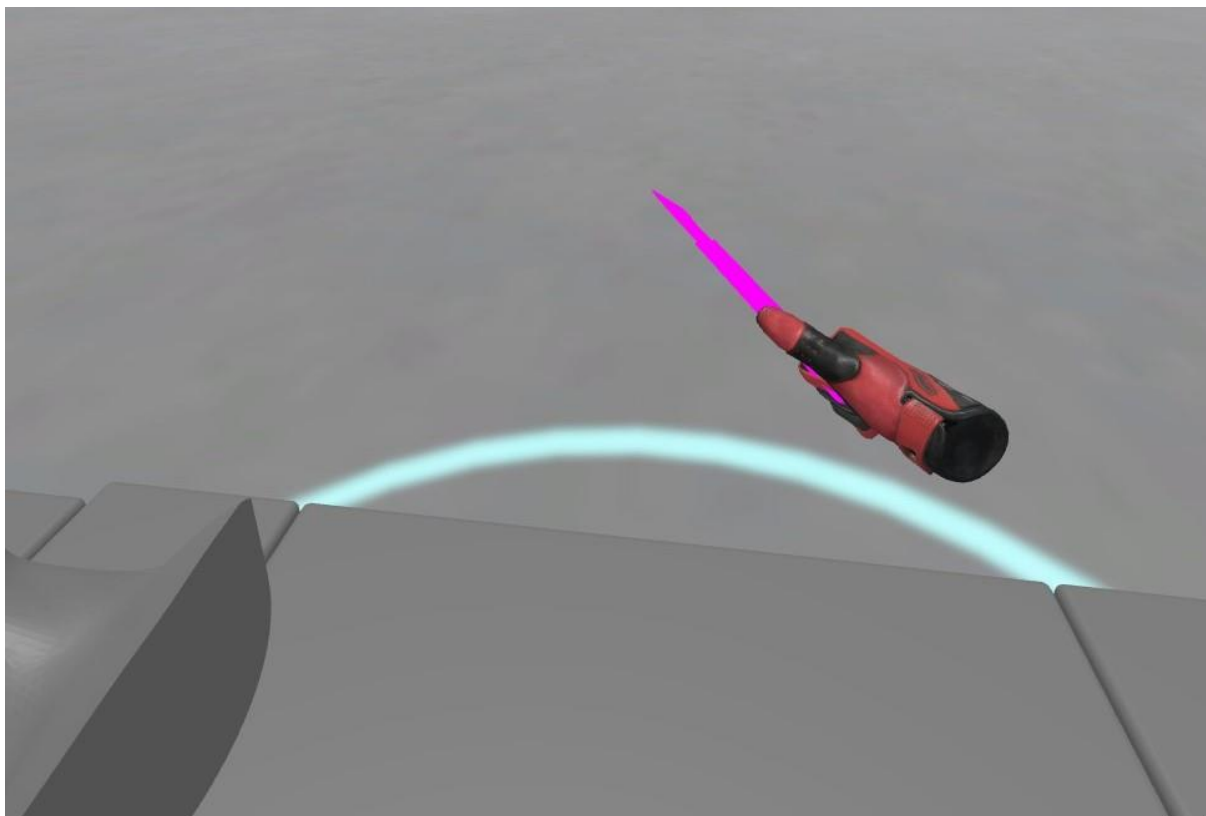
Nakon što su svi modeli u virtualnom prostoru na željenim pozicijama, virtualna rinoplastika može započeti.



### Slika 33. Postavljanje skalpela

Kontroleri (Slika 9.) su omogućili jednostavno rukovanje skalpelom: pritiskom tipke na stražnoj strani kontrolera omogućena je manipulacija predmetom (Slika 34.) – u tom trenutku osjećaj je kao da je skalpel zamijenio kontroler u ruci i prati pokrete ruke. Iako prebacivanje pokreta iz stvarnog u virtualni nije trenutačno, vrijeme prebacivanja je vrlo kratko, 20 ms [48], što omogućuje osjećaj događanja u realnom vremenu.



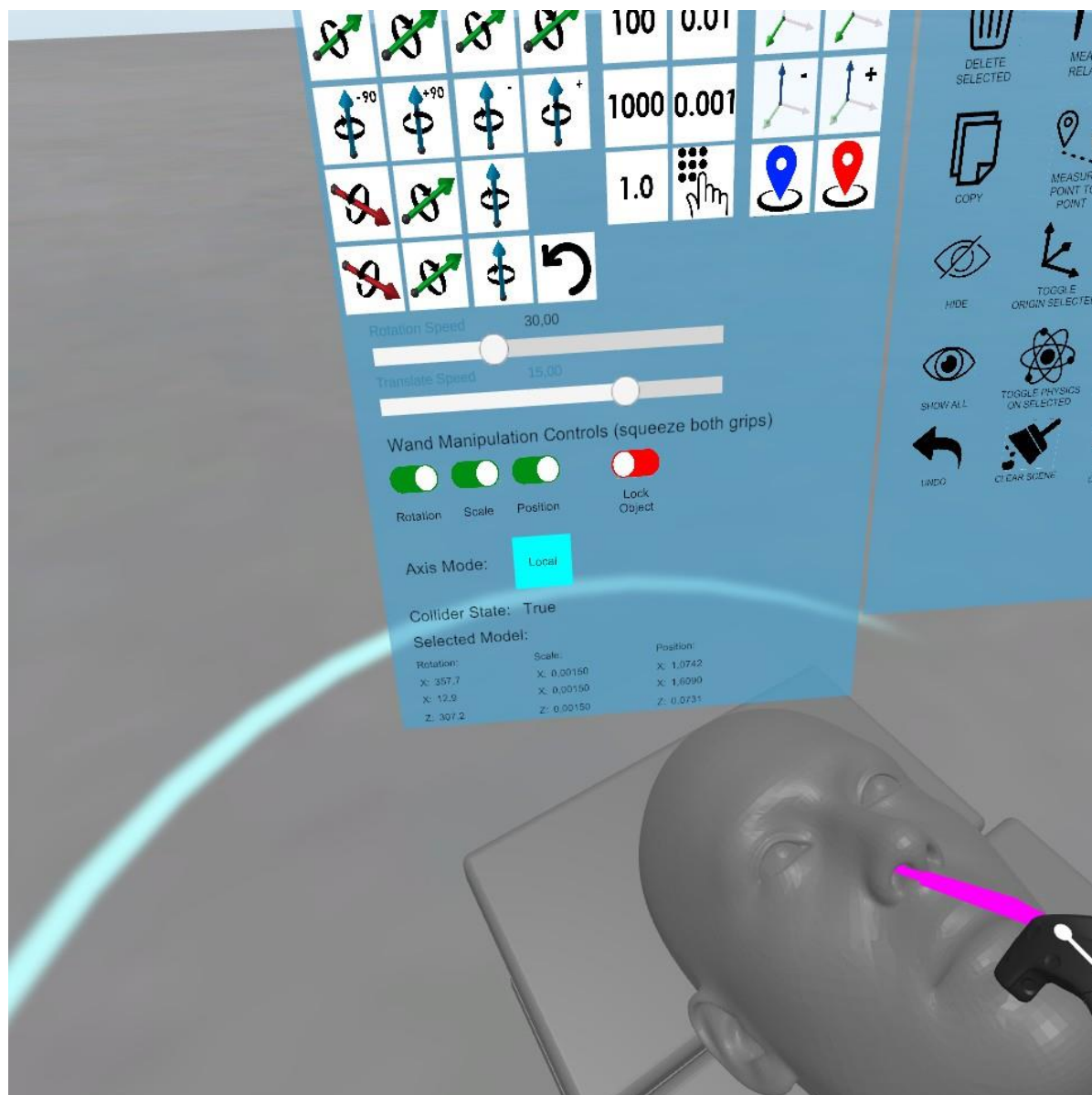


**Slika 34. Manipuliranje skalpelom**

Simulacija zahvata rinoplastike počinje tako što se skalpel postavlja s unutarnje strane nosnice u slučaju zatvorene rinoplastike (Slika 35.), ili s vanjske strane nosnice, u slučaju otvorene rinoplastike (Slika 39.) [49].

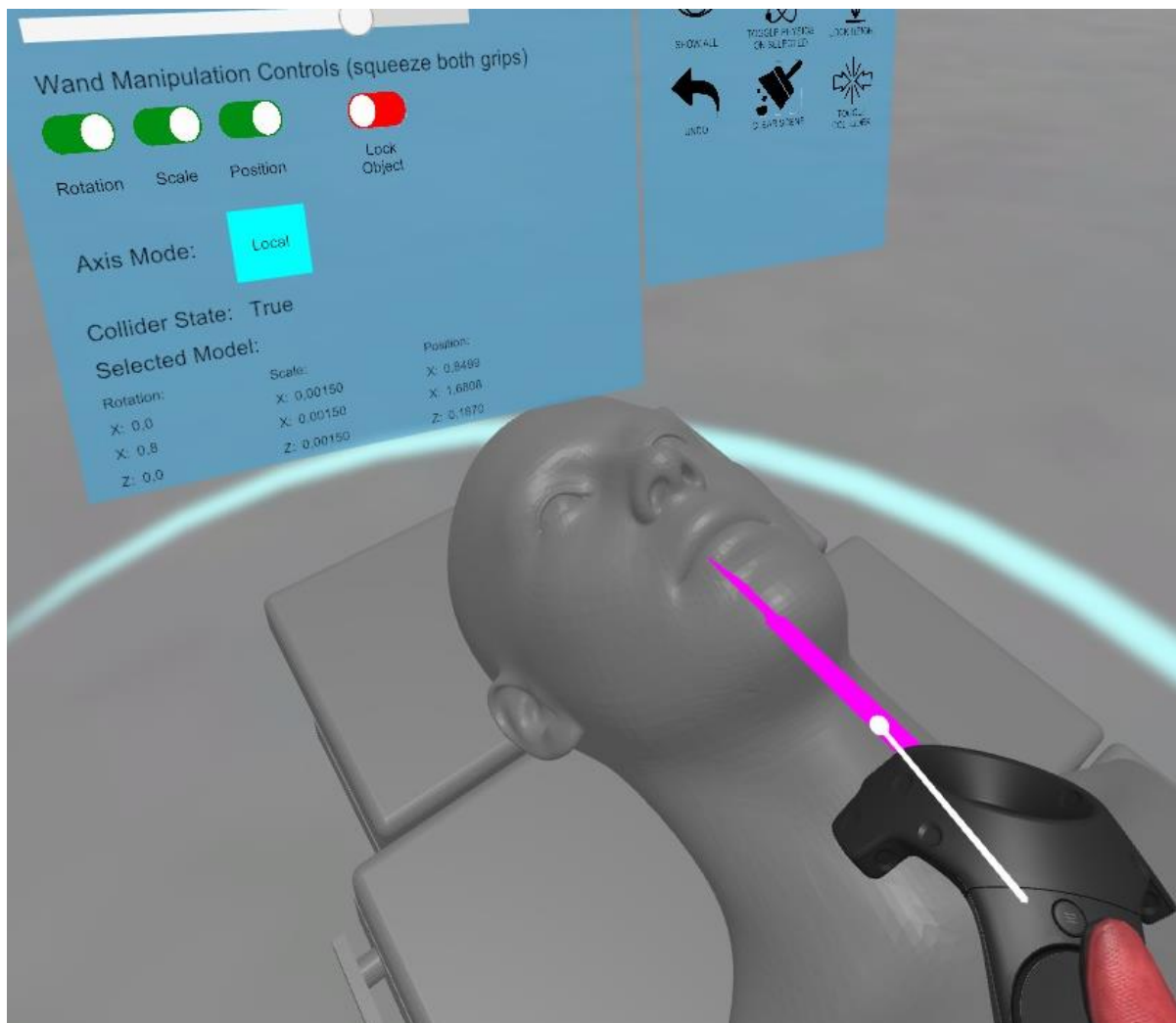
Simulacijom su izvedeni stvarni pokreti koji bi se trebali koristiti pri stvarnoj operaciji. Usporedbom slika 33. i 35. može se primijetiti po koordinatama skalpela obavljen pomak od 0,9715 m u smjeru osi  $x$ , 0,1949 m u negativnom smjeru osi  $y$  i 0,0509 m u negativnom smjeru osi  $z$ , sve mjereno od središnje točke alata (TCP) tj. od vrha oštrice skalpela. Također se vide i promjene rotacije: od  $325,4^\circ$  oko osi  $x$ ,  $345,5^\circ$  oko osi  $y$  i  $50,3^\circ$  oko osi  $z$ .



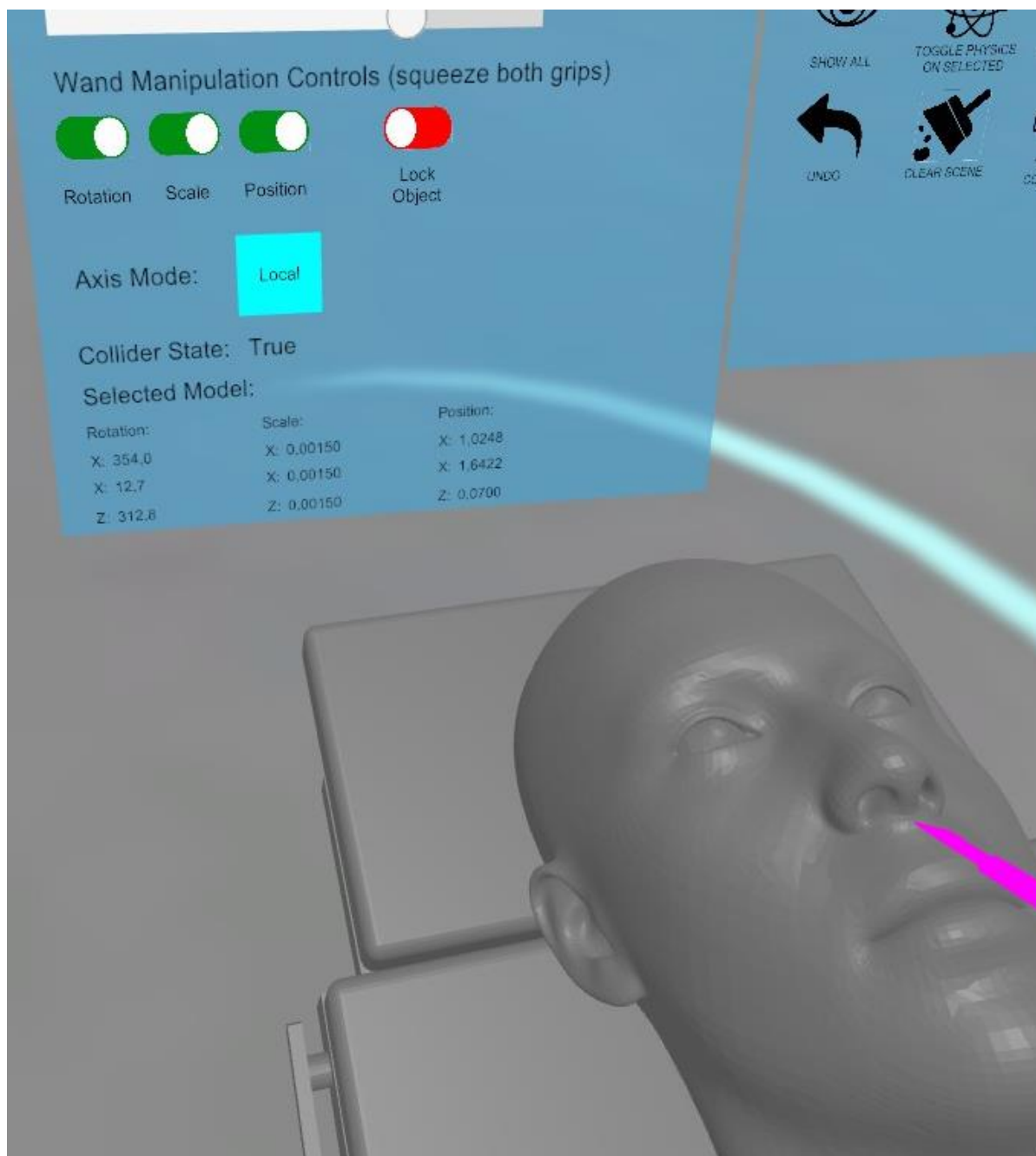


**Slika 35. Zatvorena rinoplastika**

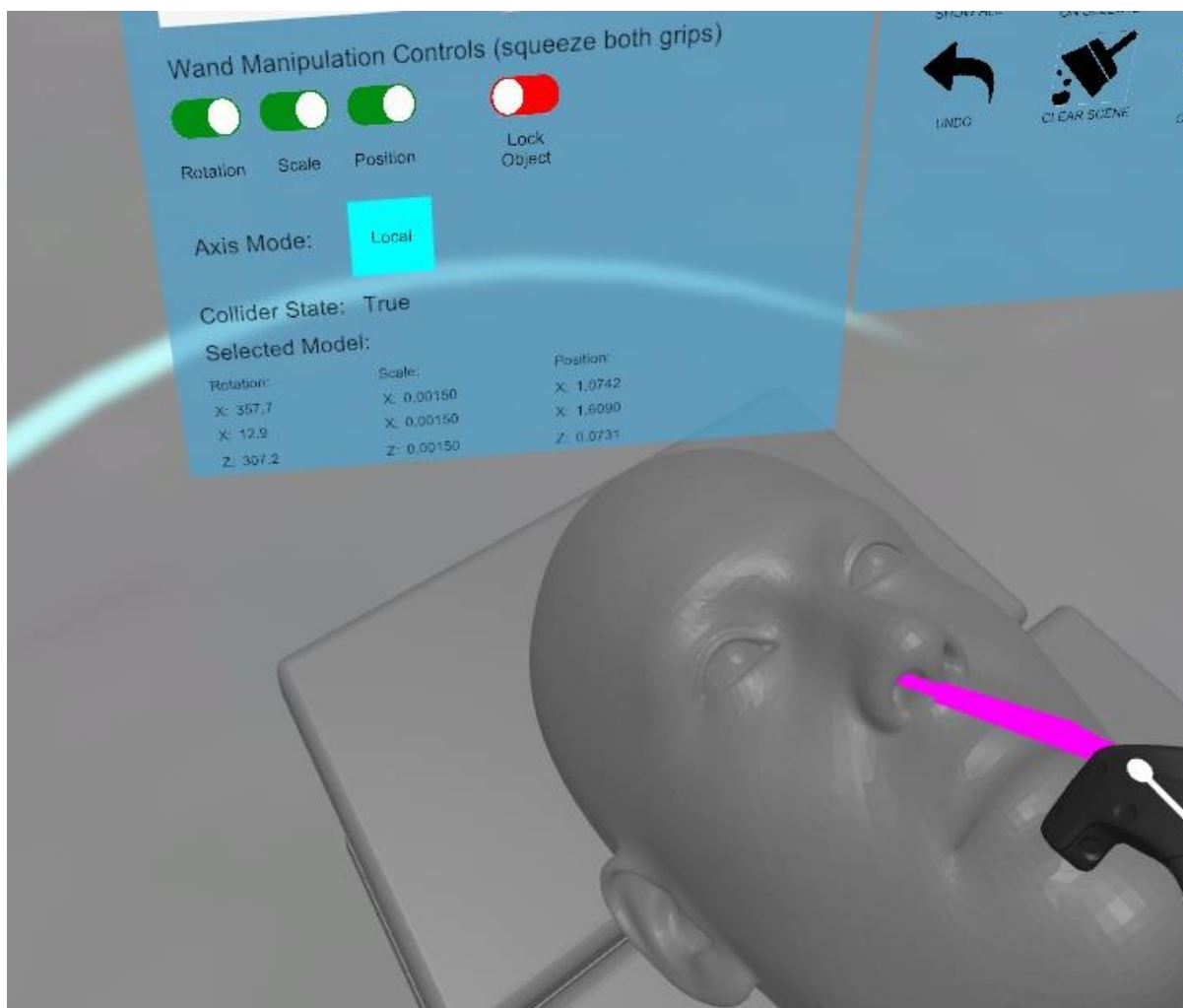
Slikama 36. do 39. je prikazana simulacija rinoplastike s odgovarajućim koordinatama skalpela radi razumijevanja pokreta i predene udaljenosti skalpela. Početne koordinate skalpela su vidljive sa slike 33.



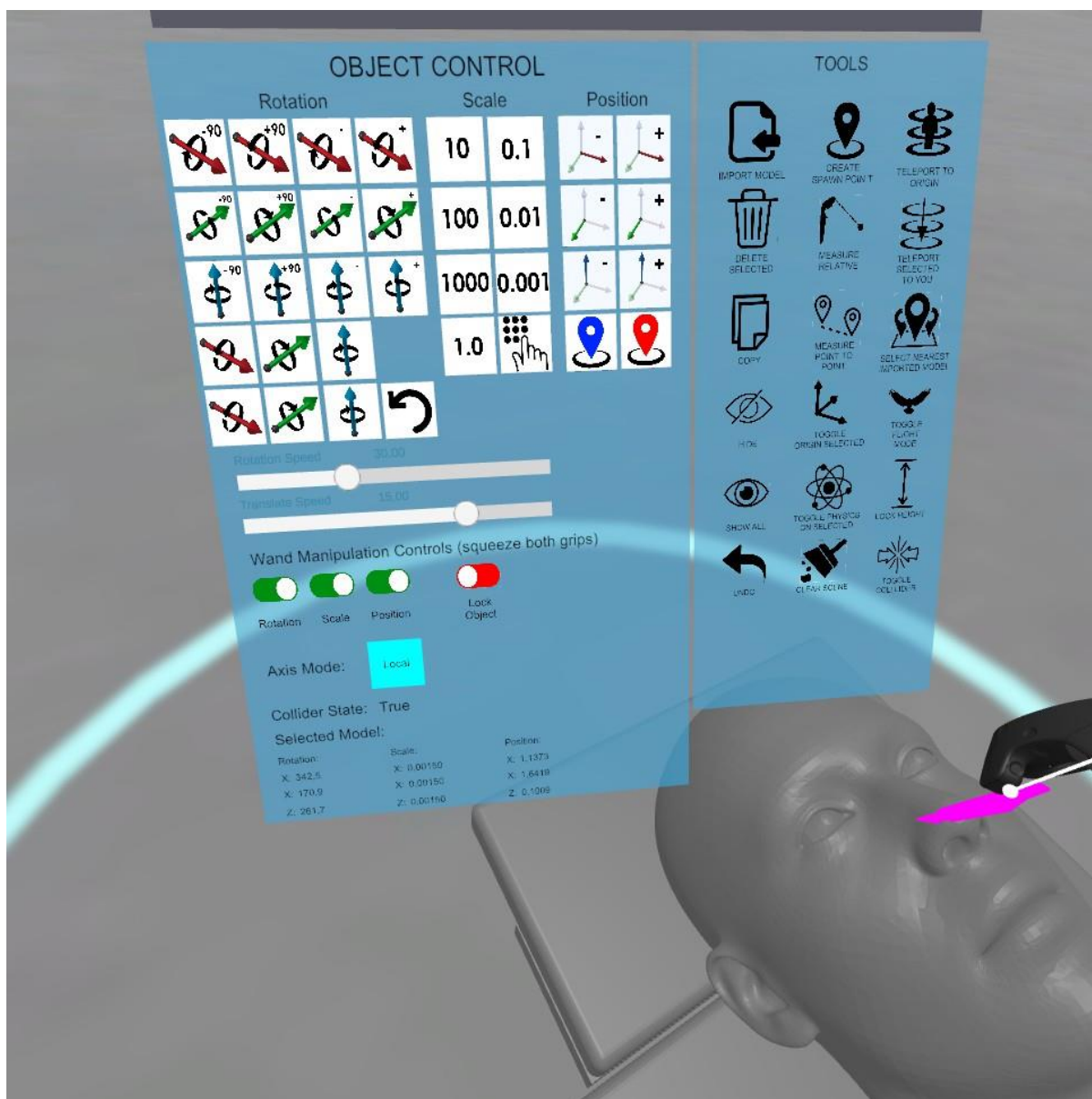
Slika 36. Koordinate TCP-a nakon prvog pomaka



Slika 37. Koordinate TCP-a nakon drugog pomaka



Slika 38. Koordinate TCP-a na lijevoj nosnici

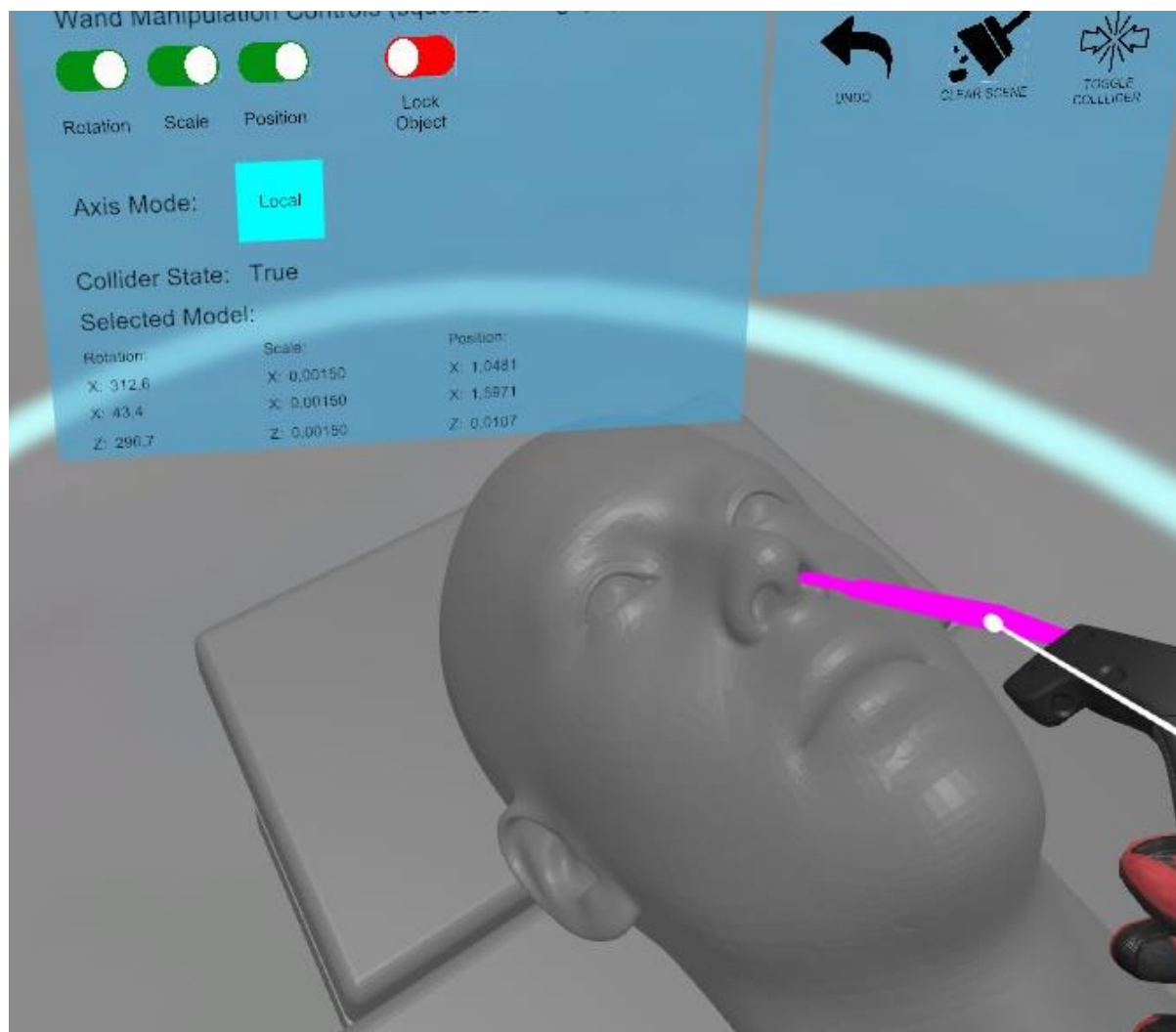


**Slika 39. Koordinate TCP-a na lijevom vanjskom dijelu nosa**

Nakon što je zahvat na jednoj strani nosa izvršen, prelazi se na drugu stranu nosa gdje se provodi jednak postupak (Slika 41.). Nakon urezanja dijelovi hrskavica se uklanjaju, ali se ostavlja 1 cm u obliku slova L kaudalno i dorzalno kako vi se očuvala potpora [50]. Tako se dobiva bolji pogled na devijaciju koštanog dijela koji se ispravlja osteotomom (Slika 40.), alatom za rezanje kostiju. Uklonjena hrskavica se vraća u prvobitni položaj te se urez prošiva i zatvara.

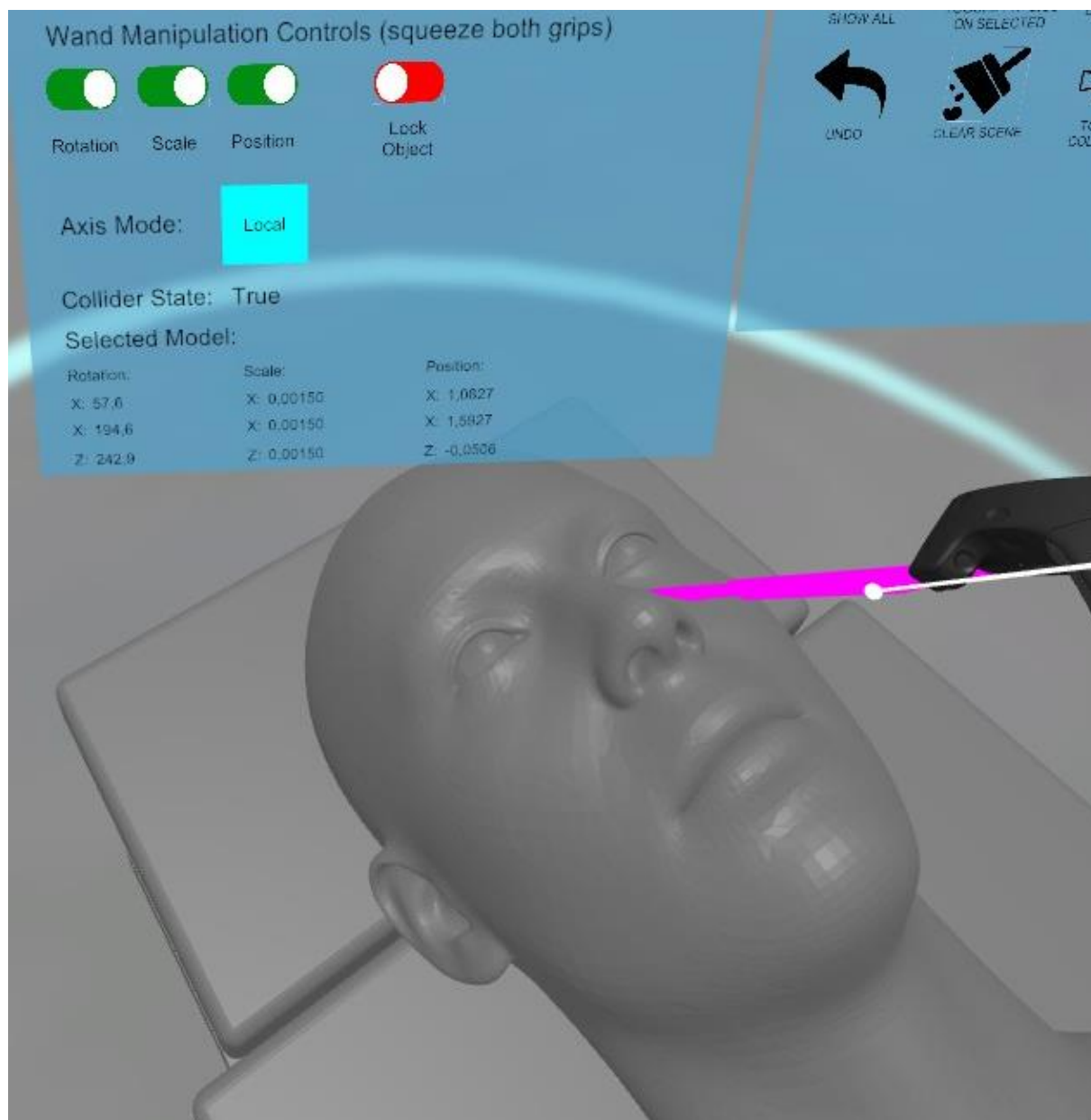


**Slika 40. Osteotom [51]**



Slika 41. Koordinate TCP-a na desnoj nosnici





**Slika 42. Koordinate TCP-a na desnoj vanjskoj strani nosa**

Ukupno vrijeme provedeno na pokusu od ulaska u aplikaciju do završetka simulacije je od 15 minuta. Nakon završetka virtualne operacije, analizom rada u virtualnom okruženju zaključuje se da je osjećaj sudjelovanja u operaciji stvaran. Od realnog pokreta ruku i alata do hodanja u prostoriji sve se odvija s nikakvim ili minimalnim kašnjenjem od 20 ms, što pruža realno iskustvo. Ovaj eksperiment u virtualnoj stvarnosti pruža duboko iskustvo interakcije s 3D modelima, od jednostavnog manipuliranja objekata do mijenjanja jednostavnih veličina, od veličine modela pa do određivanja koordinata modela. Vektorskim zbrajanjem razlike koordinata od početnog do krajnjeg položaja skalpela može se približno izračunati prijedeni

pomak skalpela i tako i prijeđeni pomak ruke koji iznosi 0,992 m. Uzimajući u obzir prosječnu brzinu pri preciznim pokretima [51], koja iznosi 0,6 m/s, može se približno i izračunati vrijeme potrebno da se iz početnog položaja dođe u položaj za početak operacije koji iznosi 1,65 s.

Očito, VR tehnologija ima značajan potencijal u medicinskoj edukaciji i treningu, omogućujući kirurzima da vježbaju i usavršavaju svoje vještine bez stvarnog rizika za pacijente. Simulacija operacije u VR okolini otvara vrata novim načinima učenja i usavršavanja medicinskih postupaka. Za dodatan osjećaj stvarnosti i što boljoj simulaciji poželjno je koristiti haptičke uređaje kao što su HaptX Gloves 1 (Slika 44.) koje bi omogućile u ovom pokusu i osjećaj otpora pritiska na nož kako bi znali kad, bi se prebacili u stvarni svijet, točan iznos sile potrebne za urezanje i početak operacije.



Slika 43. Haptičke rukavice HaptX [52]

## 6. ZAKLJUČAK

U zadnjem desetljeću ubrzani razvoj VR-a je omogućilo široku primjenu u raznoraznim granama industrije, ono što se nekada zamišljalo kao idući temelj zabave i igara, sada se postavilo kao važan i koristan alat u poslovnoj sceni. Pomoću VR-a tradicionalne metode edukacije, planiranja i komuniciranja se zamjenjuju s novijim, zanimljivijim pristupom na strani produktivnosti, kvalitete i sigurnosti.

Samo korištenje VR-a ima ograničenja kao šta su hardverske i softverske potrebe do stvarnog fizičkog prostora u kojem se moguće kretati tijekom korištenja. Međutim nedostaci i ograničenja se, u usporedbi sa prednostima, mogu zanemariti. Osim mogućnosti obavljanja treninga za opasne poslove na potpuno siguran način i pri kontroliranim uvjetima, VR omogućava korak po korak pristup situaciji da bi radnici što bolje razumijeli postupke rada. Osim sigurnosti što je najutjecajniji faktor, uz korištenje VR-a dobivaju se veliki rezultati u poboljšanju kvalitete protivoda, produktivnosti rada i smanjenje troškova. Sve je to omogućeno pomoću unaprijed planiranja radnog prostora, tijeka proizvodnje i materijala, gdje je inženjeru omogućeno planiranje kroz virtualni prostor za simulaciju novog toka još prije nego što novi proizvod krene u proizvodnu liniju. Također se ne smiju zanemariti rezultati koja je VR postigla u medicini. Osim edukacije medicinskih radnika značajan je progres u fizikalnoj i mentalnoj terapiji, gdje pacijenti u sigurnom prostoru mogu započeti svoju terapiju i dobiti bolje i brže rezultate u kontroliranim uvjetima pomoću niz pozitivnih podražaja.

U ovom radu je obavljen pokus kako bi se pokazala jedna od mnogih mogućnosti korištenja VR-a u radnom okružju. Pokazan je primjer kirurškog zahvata u području otorinolaringologije,

rinoplastika – zahvat na nosu gdje se komadi hrskavice otklanjaju zbog estetskih razloga ili zbog dišnih poteškoća pacijenta. Pokazalo se kako je jednostavno prebaciti se u virtualno okruženje za vježbu bez rizika. Pri ulasku u virtualni svijet softveri poput SteamVR i VIVEPORT olakšavaju prilagođavanje i omogućavaju jasnu i jednostavnu radnu površinu koja se koristi kao svojevrsni *desktop*. Međutim potrebna je dodatna aplikacija, u ovom slučaju, VR Model Viewer, koja dopušta ubacivanje manipuliranje i korištenje željenih 3D modela.

Tijekom cijelog korištenja aplikacije, pokreti korisnika su vrlo realni, pouzdani i cijelo vrijeme glatko prate korisnikove namjere ulijevajući mu sigurnost u virtualnom djelovanju. Ipak, postoji mogućnost poboljšanja u vidu dodatne opreme – korištenja haptičkih uređaja, koji bi pridodali još i osjet djelovanja sila tijekom korisnikova bivanja u virtualnom svijetu, dajući tako još veću sigurnost u upotrebi i vjerniju sliku stvarnog svijeta.

Ovdje ostvareni rezultati virtualne rinoplastike mogu korisno poslužiti za daljnja istraživanja mogućnosti edukacije i analize rada kirurga pri operacijama nosa.

U budućnosti, primjena VR-a se može samo širiti i razvijati. Idući korak ove tehnologije bi bilo korištenje u svakodnevnom životu kao novog načina za komuniciranje s prijateljima, obitelji i svijetom (primjer Metaverse), pri čemu se očekuje i niz etičkih pitanja i kontroverzi.

## 7. IZVORI

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Link\\_Trainer](https://en.wikipedia.org/wiki/Link_Trainer), pristupljeno 2023-07-24
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama>, pristupljeno 2023-07-24
- [3] <https://www.engadget.com/2014-02-16-morton-heiligs-sensorama-simulator.html>, pristupljeno 2023-07-24
- [4] <https://image-ppubs.uspto.gov/dirsearch-public/print/downloadPdf/3050870>, pristupljeno 2023-07-24
- [5] <https://www.virtual-reality-shop.co.uk/philco-headsight-1961>, pristupljeno 2023-07-24
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Sword\\_of\\_Damocles\\_\(virtual\\_reality\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Sword_of_Damocles_(virtual_reality)), pristupljeno 2023-07-24
- [7] [https://www.researchgate.net/figure/The-Sword-of-Damocles\\_fig1\\_326444949](https://www.researchgate.net/figure/The-Sword-of-Damocles_fig1_326444949), pristupljeno 2023-07-25
- [8] [https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new\\_continent\\_of\\_ideas/](https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas/), pristupljeno 2023-25-7
- [9] <https://www.vive.com/eu/product/vive/>, pristupljeno 2023-07-26
- [10] <https://www.vive.com/us/accessory/>, pristupljeno 2023-07-26
- [11] K. E. MacLean, "Designing with haptic feedback," *Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No.00CH37065)*, San Francisco, CA, USA, 2000, pp. 783-788 vol.1, doi: 10.1109/ROBOT.2000.844146.
- [12] <https://www.manus-meta.com/products/prime-x-haptic>, pristupljeno 2023-07-26
- [13] [https://www.vive.com/ca/support/vive/category\\_howto/what-are-the-system-requirements.html](https://www.vive.com/ca/support/vive/category_howto/what-are-the-system-requirements.html), pristupljeno 2023-07-26

- [14] <https://www.pugetsystems.com/solutions/more-workstations/virtual-reality/hardware-recommendations/>, pristupljeno 2023-07-26
- [15] <https://about.meta.com/>, pristupljeno 2023-07-30
- [16] A. Schreiber and M. Brüggemann, "Interactive Visualization of Software Components with Virtual Reality Headsets," 2017 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISOFT), Shanghai, China, 2017, pp. 119-123, doi: 10.1109/VISOFT.2017.20.
- [17] EL-WAJEH, Yasin AM; HATTON, Paul V.; LEE, Nicholas J. Unreal Engine 5 and immersive surgical training: translating advances in gaming technology into extended-reality surgical simulation training programmes. *British Journal of Surgery*, 2022, 109.5: 470-471.
- [18] <https://www.engadget.com/epic-games-unreal-engine-5-demo-150044561.html>, pristupljeno 2023-07-30
- [19] <https://all3dp.com/1/best-free-3d-modeling-software-3d-cad-3d-design-software/>, pristupljeno 2023-07-30
- [20] <https://www.engadget.com/2017-05-20-steamvr-home-social.html>, pristupljeno 2023-07-30
- [21] MALIK, C. A. J.; HADI, S. The Design of Mini CNC Assembly Simulator Based on Virtual Reality Toolkit (VRTK). In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021. p. 012019.
- [22] XIE, Biao, et al. A review on virtual reality skill training applications. *Frontiers in Virtual Reality*, 2021, 2: 645153.
- [23] BRIC, Justin D., et al. Current state of virtual reality simulation in robotic surgery training: a review. *Surgical endoscopy*, 2016, 30: 2169-2178.
- [24] <https://teamorlando.org/ecs-delivers-haptics-based-vr-training-for-burn-care-treatment-as-part-of-sbir-phase-ii-for-dha/>, pristupljeno 2023-08-20
- [25] <https://mashable.com/article/vr-vive-focus-automotive-training-simulation>, pristupljeno 2023-08-20
- [26] SETH, Abhishek; VANCE, Judy M.; OLIVER, James H. Virtual reality for assembly methods prototyping: a review. *Virtual reality*, 2011, 15: 5-20.
- [27] <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/666641>, pristupljeno 2023-08-21



- [28] <https://www.shutterstock.com/it/search/vr-screen>, pristupljeno 2023-08-21
- [29] <https://business.vive.com/us/stories/virtual-reality-delivers-immersive-remote-collaboration-automotive-design-teams/>, pristupljeno 2023-08-21
- [30] SACKS, Rafael; PERLMAN, Amotz; BARAK, Ronen. Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*, 2013, 31.9: 1005-1017.
- [31] NORRIS, Michael W.; SPICER, Kristen; BYRD, Traci. Virtual reality: the new pathway for effective safety training. *Professional Safety*, 2019, 64.06: 36-39.
- [32] <https://dmg.studio/industrial-training-simulation-vr/>, pristupljeno 2023-08-23
- [33] <https://pinheadsinteractive.com/vr-app-development-company/>, pristupljeno 2023-08-23
- [34] MUJBER, Tariq S.; SZECSI, Tamas; HASHMI, Mohammed SJ. Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of materials processing technology*, 2004, 155: 1834-1838.
- [35] <https://www.alamy.com/future-virtual-reality-technology-for-innovative-vr-warehouse-management-concept-of-smart-technology-for-industrial-revolution-and-automated-image439051027.html>, pristupljeno 2023-08-23
- [36] <https://neurorehabvr.com/blog/advanced-vr-into-physical-therapy>, pristupljeno 2023-08-25
- [37] HOFFMAN, Hunter G. Virtual-reality therapy. *Scientific American*, 2004, 291.2: 58-65.
- [38] ESHUIS, L. V., et al. Efficacy of immersive PTSD treatments: A systematic review of virtual and augmented reality exposure therapy and a meta-analysis of virtual reality exposure therapy. *Journal of psychiatric research*, 2021, 143: 516-527.
- [39] [https://www.army.mil/article/2387/army\\_uses\\_virtual\\_tool\\_in\\_its\\_battle\\_with\\_ptsd](https://www.army.mil/article/2387/army_uses_virtual_tool_in_its_battle_with_ptsd), pristupljeno 2023-08-25
- [40] KUNICA, Zoran, et al. Conceptualization of Virtual Reality Experiments for Optimized Sinus Surgery Planning and Execution. *International Journal of Industrial Engineering & Management (IJIEM)*, 2023, 14.1..
- [41] CAFFERTY, Ashley; BECKER, Daniel G. Open and closed rhinoplasty. *Clinics in Plastic Surgery*, 2016, 43.1: 17-27.

- [42] <https://grabcad.com/library/generic-human-head-1>, pristupljeno 2023-08-31
- [43] <https://grabcad.com/library/scalpel-with-blade-1>, pristupljeno 2023-08-31
- [44] <https://grabcad.com/library/medical-operating-table--1>, pristupljeno 2023-08-31
- [45] [https://www.vive.com/us/support/vive/category\\_howto/planning-your-play-area.html](https://www.vive.com/us/support/vive/category_howto/planning-your-play-area.html), pristupljeno 2023-09-14
- [46] <http://talesfromtherift.com/play-vive-vr-room-scale-games-with-the-oculus-rift-razer-hydra-motion-controllers/>, pristupljeno 2023-09-14
- [47] MACAN, Bruno. *Izrada i implementacija proširene i virtualne stvarnosti na primjeru kulturne baštine Svetvinčenta*. 2021. PhD Thesis. University of Pula. Faculty of Informatics in Pula.
- [48] <https://medium.com/@DAQRI/motion-to-photon-latency-in-mobile-ar-and-vr-99f82c480926>, pristupljeno 2023-09-16
- [49] FERATOVIĆ, Helena. *Funkcijska i estetska septorinoplastika*. 2020. PhD Thesis. University of Zagreb. School of Medicine. Department of Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery.
- [50] <https://www.medical-centar.hr/proizvod/stomatoloski-elevator-osteotom/>, pristupljeno 2023-09-16
- [51] <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/8/3863>, pristupljeno 2023-09-18
- [52] <https://haptx.com/>, pristupljeno 2023-09-16