

Izrada interaktivnih 3D modela proizvoda za primjenu u virtualnoj stvarnosti

Patafta, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:623234>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-25**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Filip Patafta

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Tomislav Martinec, mag. ing. mech.

Student:

Filip Patafta

Zagreb, 2025.

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

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Tomislavu Martincu na pruženoj pomoći i motivaciji pri izradi ovoga rada.

Također, želim se zahvaliti obitelji, prijateljima i djevojci na pruženoj podršci tijekom studiranja.

Filip Patafta



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
 Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite



Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 25 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 25 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Filip Patafta** JMBAG: **0035234152**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Izrada interaktivnih 3D modela proizvoda za primjenu u virtualnoj stvarnosti**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Development of interactive 3D product models for application in virtual reality**

Opis zadatka:

Tehnologija virtualne stvarnosti (VR) omogućuje izravniju i intuitivniju interakciju s 3D modelima proizvoda u usporedbi s tradicionalnim dvodimenzionalnim prikazima na ekranima, koji su dominantni u procesu konstruiranja. Osim što pruža bolju percepciju dimenzija i proporcija 3D modela, VR omogućuje i simulaciju ponašanja proizvoda te korisničke interakcije u različitim uvjetima. Međutim, priprema detaljnih interaktivnih modela često je presložena i nepraktična za učinkovitu primjenu u razvojnim projektima. Stoga je u okviru ovog završnog rada potrebno osmisliti i razložiti metodologiju za jednostavan prijenos 3D modela u VR okruženje, kao i učinkovito modeliranje različitih vrsta korisničkih interakcija i manipulacije virtualnim proizvodima.

U radu je potrebno:

- Istražiti dostupne alate i formate za prijenos 3D modela u virtualnu stvarnost.
- Napraviti pregled mogućih interakcija između korisnika, proizvoda i njihovog virtualnog okruženja.
- Istražiti mogućnosti prilagodbe modela proizvoda i pripadajućih komponenata u virtualnoj stvarnosti, uključujući promjene boja, tekstura, dimenzija i rasporeda.
- Formulirati smjernice za pripremu 3D modela, modeliranje korisničkih interakcija te prilagodbu modela proizvoda u virtualnoj stvarnosti.
- Izraditi hodogram koji opisuje sve korake metodologije i ukazuje na relevantne smjernice.
- Izraditi nekoliko primjera interaktivnih 3D modela proizvoda u virtualnoj stvarnosti, prateći korake predložene metodologije.

Opseg razrade interaktivnih elemenata i ponašanja modela bit će dogovoren s mentorom tijekom izrade rada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.

2. rok: 10. i 11. 7. 2025.

3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.

2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025

3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Tomislav Martinec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. PREGLED TEHNOLOGIJA VIRTUALNE STVARNOSTI.....	3
2.1 Hardverska podrška za virtualnu stvarnost.....	3
2.2 Softverska podrška za izradu interaktivnih CAD modela	5
2.3 Pregled dostupnih formata za vizualizaciju.....	8
2.4 Pregled mogućih interakcija između korisnika, proizvoda i okruženja	9
2.5 Pregled mogućnosti prilagodbe proizvoda u VR.....	10
3. METODOLOGIJA	11
3.1 Priprema CAD modela	12
3.2 Učitavanje CAD modela.....	13
3.3 Pozicioniranje modela u virtualnom prostoru	15
3.4 Organizacija hijerarhijskog stabla modela	16
3.5 Izrada scena, animacija i efekata	17
3.6 Postavljanje veza	22
3.7 Ispitivanje funkcionalnosti i ulazak u VR	25
4. PRIMJERI IZRADE INTERAKTIVNIH MODELA	27
4.1 Prilagodba prostorije	27
4.2 Pregled efekata	35
4.3 Rastavljanje proizvoda	48
4.4 Simulacija rada	58
5. ZAKLJUČAK.....	66
LITERATURA.....	68

POPIS SLIKA

Slika 1.	Izrada presjeka u VR [3]	2
Slika 2.	Interaktivnost s alatom u VR [4]	2
Slika 3.	Primjer VR naočala [6].....	3
Slika 4.	Primjer VR kontrolera [9]	4
Slika 5.	VR senzori [11]	5
Slika 6.	Primjer CAD VR alata [16].....	6
Slika 7.	Primjer alata za simulacije u VR [17]	7
Slika 8.	Primjer alata za obuku radnika [18]	7
Slika 9.	B-rep model	8
Slika 10.	Triangulariziran model	8
Slika 11.	Prikaz interakcije u realnom i virtualnom svijetu [21]	9
Slika 12.	Prvobitni prikaz automobila [22]	10
Slika 13.	Prikaz automobila nakon promjene boje i teksture [22].....	10
Slika 14.	Dijagram metodologije.....	12
Slika 15.	Dodjela materijala u fazi izrade CAD modela	13
Slika 16.	Pravilno grupiranje komponenti koje se zajedno pomiču	13
Slika 17.	Postavke učitavanja modela u alatu <i>VR Studio</i>	14
Slika 18.	Pozicioniranje modela u alatu <i>VR Studio</i>	15
Slika 19.	Premještanje točke za pozicioniranje u alatu <i>VR Studio</i>	15
Slika 20.	Opcije za modele u hijerarhijskom stablu u alatu <i>VR Studio</i>	16
Slika 21.	Opcije pohrane stanja scene u alatu <i>VR Studio</i>	17
Slika 22.	Primjer pripreme animacije u alatu <i>VR Studio</i> za položaj vrata na 30 FPS-a	18
Slika 23.	Primjer pripreme animacije u alatu <i>VR Studio</i> za položaj vrata na 60 FPS-a	18
Slika 24.	Primjer pripreme animacije u alatu <i>VR Studio</i> za položaj vrata na 90 FPS-a	19
Slika 25.	Korištenje izbornika <i>Solids</i> u alatu <i>VR Composer</i>	19
Slika 26.	Postavke krutih tijela u alatu <i>VR Composer</i>	20
Slika 27.	Prikaz funkcije <i>Links</i> u alatu <i>VR Composer</i>	20
Slika 28.	Opcije funkcije <i>Simulation</i> u alatu <i>VR Composer</i>	21
Slika 29.	Kreiranje animacije pomoću simulacije u alatu <i>VR Composer</i>	21
Slika 30.	Primjer animacije otvaranja vrata u alatu <i>VR Studio</i>	22
Slika 31.	Povezivanje modela u alatu <i>VR Studio</i>	23
Slika 32.	Postavljanje veza unutar <i>Training Buildera</i> u alatu <i>VR Studio</i>	23

Slika 33.	Ikona <i>Edit Variables and Initial Values</i> u alatu <i>VR Studio</i>	24
Slika 34.	Opcije funkcije <i>Edit Variables and Initial Values</i> u alatu <i>VR Studio</i>	24
Slika 35.	Postavljanje početne pozicije pregleda u alatu <i>VR Studio</i>	25
Slika 36.	Promjena visine avatara u alatu <i>VR Studio</i>	26
Slika 37.	Postavljanje elemenata kupaonice unutar virtualne stvarnosti	27
Slika 38.	Promjena boje pločica	28
Slika 39.	Postavke pohranjivanja scena pločica	28
Slika 40.	Sučelje za odabir materijala pločica	29
Slika 41.	Postavljanje veza za promjenu boje pločica.....	29
Slika 42.	Prikaz sučelja za odabir različitih modela elemenata kupaonice	30
Slika 43.	Postavljanje veza za prikazivanje i sakrivanje modela	30
Slika 44.	Prikaz postavljanja tuševa u 3D prostoru	31
Slika 45.	Pohranjivanje scena rasporeda kupaonice	31
Slika 46.	Kreiranje animacije vrata	32
Slika 47.	Podешavanje kuta kamere	33
Slika 48.	Povezivanje ravnine za projiciranje s kamerom.....	33
Slika 49.	Prikazivanje snimke unutar virtualne stvarnosti	33
Slika 50.	Početna veza stropa	34
Slika 51.	Veza za prikazivanje stropa.....	34
Slika 52.	Prikaz kupaonice 1 unutar virtualne stvarnosti	34
Slika 53.	Prikaz kupaonice 2 unutar virtualne stvarnosti	34
Slika 54.	Efekti <i>SimLab VR Studio</i>	35
Slika 55.	Početni položaj modela <i>Make Fluid</i> efekta	35
Slika 56.	Povezivanje varijable efekta <i>Make Fluid</i>	36
Slika 57.	Postavljanje <i>Variable Writtera</i>	36
Slika 58.	Ulijevanje i promjena količine tekućine.....	36
Slika 59.	Prikaz usmjerivača u 3D prostoru i opcija funkcije <i>Create Fire</i>	37
Slika 60.	Vatra ložišta.....	37
Slika 61.	Plamen svijeće	37
Slika 62.	Opcije efekta <i>Create Shower</i>	38
Slika 63.	<i>Create Shower</i> efekt u VR-u	38
Slika 64.	Opcija i pozicije efekta <i>Create Spark</i>	38
Slika 65.	Kreiranje veze za efekt iskre	39
Slika 66.	Veza za početno skrivanje iskre	39

Slika 67.	Efekt iskre na primjeru zavarivanja unutar virtualne stvarnosti.....	40
Slika 68.	Postavljanje i opcije efekta <i>Make Water</i>	40
Slika 69.	Prikaz efekta <i>Make Water</i> u virtualnoj stvarnosti	41
Slika 70.	Izbornik efekta <i>Grass</i>	41
Slika 71.	Efekt <i>Grass</i> u virtualnoj stvarnosti.....	41
Slika 72.	Prikaz pozicije i opcija funkcije <i>Create Fire</i> kod štednjaka	42
Slika 73.	Prikaz pozicije i opcija funkcije <i>Create Steam</i> kod štednjaka	42
Slika 74.	Prikaz korištenja efekta <i>Create Wire/Rope</i>	43
Slika 75.	Zagrijavanje čajnika unutar virtualne stvarnosti	43
Slika 76.	Povezivanje šmrka i hidranta s crijevom.....	44
Slika 77.	Postavljanje efekta <i>Create Shower</i>	44
Slika 78.	Izrada animacije za zakretanje ručke.....	45
Slika 79.	Rotacija ručke u virtualnoj stvarnosti.....	45
Slika 80.	Postavljanje veza za primjer gašenja vatre.....	46
Slika 81.	Postavljanje efekta <i>Create Smoke</i>	46
Slika 82.	Postavljanje početnih događaja	47
Slika 83.	Početak gašenja vatre	47
Slika 84.	Početak gašenja vatre	47
Slika 85.	Prikaz prostorije sa modelom miksera	48
Slika 86.	Provjera ispravnosti podjele komponenti unutar hijerarhijskog stabla	49
Slika 87.	Postupak izrade veza za rastavljanje miksera.....	49
Slika 88.	Varijabla za donji dio kućišta.....	50
Slika 89.	Rastavljanja donjeg dijela kućišta	50
Slika 90.	Prikaz rastavljenog miksera.....	50
Slika 91.	Postavljanje funkcije <i>Capture SceneState</i>	51
Slika 92.	Izrada veze za postavljanje donjeg dijela kućišta na stol	51
Slika 93.	Stvaranje animacije izvlačenja gumenih nogu	52
Slika 94.	Izvlačenje gumenih nogu.....	52
Slika 95.	Postavljanje veze za izvlačenje gumenih nogu	53
Slika 96.	Postavljanje veze za rotor i gumb.....	53
Slika 97.	Postavljanje veze pri ulasku u virtualnu stvarnost	54
Slika 98.	Postavljanje veze za pritisak gumba.....	54
Slika 99.	Postavljanje veze između statora i rotora	55
Slika 100.	Sastavljeni stator i rotor.....	55

Slika 101. Postavljanje veze sastavljanja gumenih nogu u kućište	56
Slika 102. Postavljanje gumenih nogu u virtualnoj stvarnosti	56
Slika 103. Postavljanje veze za pomicanje donjeg dijela kućišta.....	57
Slika 104. Prikazivanje uputa u virtualnoj stvarnosti	57
Slika 105. Kreiranje krutih tijela	58
Slika 106. Fiksiranje komponente	58
Slika 107. Postavljanje veze <i>Revolute</i>	59
Slika 108. Opcija <i>Enable motor</i>	59
Slika 109. Postavljanje funkcije <i>Fixed</i>	60
Slika 110. Postavljanje funkcije <i>Gear</i>	60
Slika 111. Uključivanje opcije <i>Enable Collision</i>	61
Slika 112. Simulacija rada reduktora unutar virtualne stvarnosti.....	61
Slika 113. Robotska ruka zavarivanje unutar virtualnog prostora.....	62
Slika 114. Fiksiranje postolja robotske ruke	62
Slika 115. Kreiranje veze <i>Revolute</i> za robotsku ruku.....	63
Slika 116. Izbornik <i>Paths</i>	63
Slika 117. Kreiranje putanje	64
Slika 118. Postavljanje veze <i>Path</i>	64
Slika 119. Prikaz procesa zavarivanja u virtualnoj stvarnosti	65

SAŽETAK

U ovom radu istražuje se koncept virtualne stvarnosti (VR) s naglaskom na interaktivnost između modela, korisnika i okoline kao ključni element korisničkog iskustva. Nakon pregleda relevantnih tehnologija i njihovih primjena, predložena je metodologija izrade interaktivnog virtualnog okruženja koja potencijalnim korisnicima omogućava dublje razumijevanje VR tehnologija i sustava, kao i njihovih mogućnosti pri kreaciji interaktivne virtualne stvarnosti. Također je opisan detaljan postupak izrade virtualnog okruženja kako bi se minimizirali problemi na koje se nailazi pri kreiranju interaktivnih iskustava. Kroz četiri praktična primjera prikazane su mogućnosti interaktivnosti u virtualnoj stvarnosti korištenjem alata *SimLab VR Studio*, te je za svaki primjer razložen detaljan opis koji vodi korisnika kroz korake izrade, čime se osigurava jasno razumijevanje i pravilno korištenje alata. Prvo je prikazan primjer prilagodbe prostorije, gdje korisnik sam odabire izgled i raspored elemenata prema vlastitim željama. Zatim su prikazani različiti virtualni efekti koji stvaraju uvjerljivu percepciju realnosti virtualnog okruženja, pri čemu kombinacija više efekata omogućuje stvaranje dojmljivog virtualnog iskustva. Na sljedećem primjeru prikazan je proces rastavljanja i sastavljanja miksera, gdje korisnik prolazi kroz različite faze rastavljanja uređaja, pritom koristeći alate unutar virtualne stvarnosti, i dobiva uvid u njegovu unutarnju strukturu i način na koji funkcionira. Na kraju su izrađene simulacije rada reduktora i zavarivanja autonomne robotske ruke, koje služe za analizu i preispitivanje ispravnosti modela. Rad pruža uvid u suvremene VR tehnologije i potencijal virtualne stvarnosti u kontekstu konstruiranja, oblikovanja, edukacije korisnika i primjeni u različitim fazama razvoja proizvoda, pritom naglašavajući važnost interaktivnosti pri stvaranju uvjerljivog virtualnog iskustva.

Ključne riječi: virtualna stvarnost, interaktivnost, *SimLab VR*, virtualni prostor, vizualni efekti

SUMMARY

This presented work explores the concept of virtual reality (VR) with an emphasis on the interactivity between the model, the user and the environment as a key element of the user experience. After reviewing the relevant technologies and their applications, the methodology for creating interactive virtual environment is described. The methodology is described in a way that enables potential users to gain deeper understanding of VR systems and their capabilities for creating interactive virtual environments. Hence, a detailed process of creating a virtual environment is described in order to minimize problems that are often encountered when creating an interactive experience. Through four practical examples, the possibilities of creating interactivity in VR while using a software tool *SimLab VR Studio* are shown. For each example a detailed description is provided that guides the user through the steps of creation, thus ensuring a clear understanding and proper use of tools. Firstly, an example of room customization is presented, where the user chooses the appearance and arrangement of elements according to their own preferences. Then, various virtual effects are shown that create realistic perception of the virtual environment, whereby the combination of several effects enables the creation of an impressive virtual experience. The next example shows the process of disassembling and assembling of a mixer, where the user goes through different stages of disassembling the device, while using tools within VR, and gets an insight into its internal structure and working principles. At the end, simulations of the operation of the reducer and welding of the autonomous robotic arm were made, which are used to analyze and review the correctness of the model. The presented work provides an insight into contemporary VR technologies and the potential of VR in the context of design, user education and application in different stages of product development, while emphasizing the importance of interactivity in creating a convincing virtual experience.

Key words: virtual reality, interactivity, *SimLab VR*, virtual environment, visual effects

1. UVOD

Virtualna stvarnost (eng. *Virtual Reality – VR*) je tehnologija koja omogućava korisniku da uđe u računalno stvorene prostore, tj. simulaciju koja pruža interaktivno iskustvo uranjanja u trodimenzionalni svijet, gdje korisnik može istraživati, komunicirati i reagirati na virtualne objekte i okruženje. U njoj korisnik dobiva osjećaj prisutnosti, kao da se on sam nalazi u digitalnom okruženju. Digitalno okruženje nije statično, već odgovara na naredbe korisnika što je i jedna od glavnih karakteristika virtualne stvarnosti koja se zove interaktivnost u stvarnom vremenu. To znači da računalo dobiva naredbe od korisnika i prilagođava različite aspekte virtualne stvarnosti sukladno naredbama u trenutku njihovog primanja [1]. Virtualna stvarnost korisnicima omogućava izravnu interakciju s 3D modelima, čime nadmašuje klasičan prikaz i percepciju modela na ekranu. Izravnija interakcija s 3D modelima rezultira stvaranim osjećajem za dimenzije proizvoda i njihov odnos, što često predstavlja problem u klasičnom pregledu 3D modela na ekranu računala. Dodatna funkcionalnost koju virtualna stvarnost nudi jest simulacija izravne interakcije s proizvodom u različitim okruženjima.

Danas je virtualna stvarnost sve prisutnija u aktivnostima razvoja proizvoda, što zbog veće dostupnosti i smanjenja troškova opreme, što zbog sve bolje softverske podrške u vidu konstruiranja, izvođenja simulacija, testiranja i optimizacije proizvoda na načine koji su prije bili nedostupni. Istraživanja su pokazala da integracija virtualne stvarnosti u razvoj proizvoda potiče članove timova na intenzivniju suradnju, što doprinosi zajedničkom odlučivanju i povećanju rada na kreiranju novih rješenja za različite probleme. Također, ističe se doprinos ranom otkrivanju konstrukcijskih pogrešaka, problematike s korištenjem proizvoda i nedostatku ergonomske svojstava proizvoda. No također je važno naglasiti da virtualna stvarnost ne može u potpunosti zamijeniti klasičan pristup modeliranju na računalu, već je ona komplementarna tehnologija koja sa svojim prednostima uvelike olakšava i ubrzava proces razvoja, posebice aktivnosti pregleda i testiranja konstrukcije [2].

Puni potencijal interakcije s geometrijskim modelima konstrukcije, odnosno s tzv. CAD (eng. *Computer-Aided Design*) modelima, nije moguće postići samim njihovim prebacivanjem u virtualnu stvarnost, već je različite aspekte interaktivnosti potrebno samostalno modelirati. Stoga korisnici često virtualnu stvarnost upotrebljavaju isključivo za imerzivnu vizualizaciju CAD modela i osnovnu interakciju koja proizlazi iz mjerenja dimenzija modela, izrade presjeka (Slika 1.) i slične manipulacije koje su ionako već dostupne u CAD sustavima. Uključivanjem dodatnih aspekata direktne interakcije s modelom i kreacije interaktivnosti između modela (Slika 2.), kao što su korištenje proizvoda unutar virtualne stvarnosti, rastavljanje proizvoda ili

promjena izgleda modela, prikupljaju se korisne informacije o proizvodu koje mogu utjecati na izgled ili konstrukciju proizvoda prije njegove izrade, te se povećava razumijevanje o različitim fazama stanja proizvoda prilikom sastavljanja, što nas upozorava na eventualne nedostatke. Također je moguće kreirati niz različitih edukativnih sadržaja, koji korisnike podučavaju o funkcionalnim aspektima proizvoda, a koji se često prenose rastavljanjem proizvoda u stvarnom okruženju.



Slika 1. Izrada presjeka u VR [3]



Slika 2. Interaktivnost s alatom u VR [4]

Shodno navedenom, cilj ovoga rada je istražiti mogućnosti izrade interaktivnih modela u virtualnoj stvarnosti, s posebnim naglaskom na adekvatnu pripremu CAD modela, njihovo prebacivanje u formate prigodne za vizualizaciju u virtualnoj stvarnosti te istraživanje različitih načina interakcije koje je moguće modelirati i simulirati.

U sljedećem poglavlju detaljno je objašnjenja potrebna oprema za VR te način na koji se omogućuje uranjanje u virtualni svijet. Također, prikazana je detaljna metodologija modeliranja interaktivnih iskustava u virtualnoj stvarnosti s opaskama za povećanje efikasnosti i ukazivanje na najčešće probleme. Na kraju su razloženi detaljni opisi pripreme različitih interaktivnih modela te programiranje njihovog ponašanja u virtualnoj stvarnosti.

2. PREGLED TEHNOLOGIJA VIRTUALNE STVARNOSTI

U ovom poglavlju napravljen je pregled dostupnih tehnologija virtualne stvarnosti i mogućnosti njihove primjene. Istražena je oprema koja je potrebna za uronjavanje u virtualnu stvarnost i formati koji se najčešće primjenjuju za uvoz geometrijskih modela u virtualno okruženje. Također, u ovom su poglavlju istražene različite vrste interaktivnost koje je moguće modelirati između modela, okruženja i korisnika.

2.1 Hardverska podrška za virtualnu stvarnost

Pri korištenju tehnologije virtualne stvarnosti korisnik ulazi u digitalno generirani svijet u kojemu se kreće i njime upravlja pomoću posebnih uređaja kao što su VR naočale i VR kontroleri, dok različite vrste senzora mogu pratiti i generirati podatke o korisnikovom položaju u simuliranom prostoru.

VR naočale (eng. *VR headset*) omogućuju korisniku vizualizaciju virtualnog prostora. VR naočale sastoje se od 2 ekrana visoke rezolucije, po jedan za svako oko, na kojima se prikazuje virtualan prostor. Ovi ekrani često koriste tehnologije poput OLED-a ili LCD-a, što omogućuje jasno prikazivanje slike s većim rasponom boja i dubljim kontrastom. Na njima se nalaze senzori za praćenje pokreta glave koji omogućavaju usklađenost pokreta glave u stvarnom svijetu s pokretima u virtualnoj stvarnosti, što dodatno povećava osjećaj imerzivnosti u virtualnom okruženju. Također se u naočalama koriste tehnologije koje omogućuju velike brzine osvježavanja prikaza slike kako bi se smanjilo kašnjenje između pokreta glave i kontrolera u odnosu na prikaz sadržaja na ekranu. Često se na samom uređaju nalazi i kotačić koji omogućuje podešavanje različitih postavki prikaza slike na ekranu (npr. udaljenosti korisnikovih zjenica), odnosno korisnik može podešiti sliku kako mu odgovara s obzirom na njegove karakteristike vida što smanjuje naprezanja očiju i rezultira oštrijom slikom. [5]



Slika 3. Primjer VR naočala [6]

Kontroleri za virtualnu stvarnost omogućuju izravnu interakciju s virtualnim svijetom. Kontroleri omogućuju direktnu manipulaciju virtualnim objektima i provođenje naredbi u virtualnom okruženju. Kontroleri su opremljeni sensorima za praćenje pokreta ruku (ili markerima koje prate dodatni senzori) preko kojih se istovremeno njihov položaj i orijentacija iz stvarnog svijeta prenose u virtualni svijet. Također, na njima se nalaze sučelja za upravljanje (gumbi, okidači, kapacitivni senzori i sl.) pomoću kojih korisnik može uhvatiti 3D objekte, kretati se unutar okruženja, pokretati naredbe, razne izbornike i dr. Sučelje za upravljanje (Slika 4.) sastoji se od gornjeg akcijskog gumba (1), te služi za brzi pristup glavnome izborniku, odnosno alatima. Pritiskom podloge za palac (2) korisnik se može kretati unutar virtualne stvarnosti, te se također može rotirati pomoću pokreta palcem po podlozi. Okidač (3) služi za odabir i interakciju s modelima unutar virtualne stvarnosti. Pritiskom tzv. *Gripa* (4) korisnik može manipulirati s modelom [7]. Kontroleri su ergonomski oblikovani te omogućavaju udobno korištenje kroz duže periode. Većina današnjih kontrolera ima ukomponiranu tehnologiju taktilne povratne informacije (eng. *haptic feedback*), tj. kontroleri počinju vibrirati tijekom određenih interakcija u virtualnom okruženju kako bi se povećala imerzivnost [8].



Slika 4. Primjer VR kontrolera [9]

Senzori za praćenje pokreta određuju položaj i orijentaciju VR kontrolera i naočala. Ovi senzori su često zasebni uređaji (neovisni od naočala i kontrolera) te se nalaze u kutovima sobe na povišenim stalcima. U takvom se slučaju najčešće radi o dva senzora raspoređena u dijagonalnim kutovima kako bi što bolje pokrilo cijelo polje kretanja korisnika i neometano prepoznali svi pokreti kontrolera i naočala.

Za određivanje pokreta mogu se koristiti kamere, optički i infracrveni senzori. Kamere koriste napredne algoritme analize slike kako bi se odredio relativan položaj, optički senzori očitavaju pozicije markera koji se nalaze na kontrolerima i VR naočalima u prostoru, dok infracrveni

senzori koriste infracrvene zrake za određivanje pozicija. Kod infracrvenih senzora markeri detektiraju specifične uzorke infracrvenih zraka koji se emitiraju [10]. Kako se korisnik pomiče senzori skupljaju podatke o promjeni položaja i šalju ih računalu koje istovremeno mijenja pozicije unutar virtualne stvarnosti.



Slika 5. VR senzori [11]

Neki od najpoznatijih VR sustava koji se koriste za vizualizacije CAD modela su Oculus Quest, HTC Vive, Lenovo, Meta Quest, KIWI i dr. U većini slučajeva sustavi su kompatibilni sa Steam VR-om na računalu, koji omogućuje daljnje povezivanje s različitim softverskim alatima.

Za osiguravanje optimalnih performansi i stabilnosti pri korištenju VR sustava, potrebno je koristiti adekvatnu računalnu podršku. Osnovni zahtjevi su snažan proces, grafička kartica visoke kvalitete i količina RAM. Za proces preporuča se korištenje minimalno procesora pete generacije, poput Intel i5 ili AMD Ryzen, koji pružaju određenu stabilnost. Ključni element VR performansi kako bi se postigle vrhunske performanse su grafičke kartice, te se preporuča korištenje modela poput Nvidia GTX 1060 i AMD Radeon RX 5000. Također, vrlo bitan detalj računalne podrške je i radna memorija, te se preporuča minimalno 8GB RAM-a. Za izradu interaktivnosti modela proizvoda pri izradi ovog rada korišten je sustav HTC Vive Pro.

2.2 Softverska podrška za izradu interaktivnih CAD modela

Na tržištu je dostupan vrlo širok izbor alata odnosno računalnih programa za vizualizaciju 3D CAD modela pomoću tehnologija virtualne stvarnosti. Većinu programa moguće je podijeliti u jednu od tri skupine, (1) CAD VR alati, (2) alati za izradu simulacija i (3) alati za obuku radnika. CAD VR alati uglavnom se koriste za inspekciju modela unutar virtualne stvarnosti gdje timovi prije same izrade prototipa proizvoda mogu dobiti odličan osjećaj za stvarne dimenzije gotovog proizvoda. Prednosti ovih alata su detaljan pregled modela i manipulacija u stvarnom vremenu.

Također većina alata nudi kolaborativni radni proces i opcije poput skaliranja modela, rotiranja i rastavljanja. Neki od alata koji se primjenjuju u ovom području su *Autodesk VRED*, *Siemens NX VR*, *SimLab VR Studio* i *Solidworks eDrawings VR*.

Autodesk VRED je napredan alat za vizualizaciju modela, te omogućuje mjerenje modela, kreiranje presjeka i manipulaciju komponenti unutar VR. Sadrži napredne tehnologije renderiranja poput ray tracing, te pruža vrlo detaljan prikaz modela, što ga čini idealnim alatom za industrije koje zahtijevaju visoku razinu kvalitete vizualizacije poput automobilske industrije. Koristi se za stvaranje interaktivnih okruženja, te također nudi kolaboraciju u stvarnom vremenu [12].

Siemens NX VR omogućuje inženjerima testiranje i optimizaciju modela u VR-u prije proizvodnje pomoću opcija preciznog mjerenja, izrade dinamičnih presjeka i interakcije s modelima. Integracija s PLM sustavima omogućuje analizu i testiranje proizvoda prije izrade prototipa, time smanjujući troškove i vrijeme razvoja [13].

SimLab VR Studio podržava širok spektar formata koji se jednostavno učitavaju unutar virtualne stvarnosti. Alat omogućuje stvaranje interaktivnih iskustava pritom omogućavajući detaljnu analizu modela. Također nudi opciju rastavljanja modela, te je odličan alat za edukaciju i obuku [14].

Solidworks eDrawings VR omogućuje jednostavan pregled CAD modela unutar virtualne okoline, pritom pružajući korisniku mogućnost interaktivne analize modela. Osnovni alati za mjerenje, izradu presjeka i manipulaciju komponenta omogućuju efikasnu analizu sklopa i odnosa dimenzija. Idealan je za brzu analizu modela unutar virtualne stvarnosti [15].



Slika 6. Primjer CAD VR alata [16]

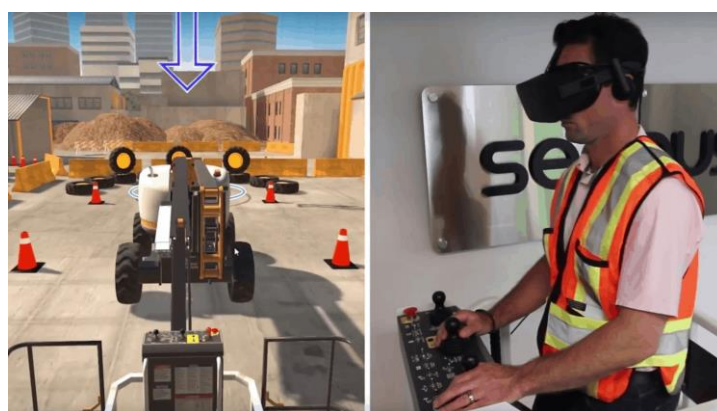
Alati za izradu simulacija koriste se pri izradi realnih i interaktivnih simulacija koje omogućuju testiranje, detaljno analiziranje i optimizaciju strojeva ili procesa proizvodnje prije implementacije u stvarnom svijetu. Pomoću simulacija moguće je poboljšati efikasnost, smanjiti inicijalne troškove i ukloniti pogreške u razvoju različitih vrsta proizvoda i sustava.

Simulacije imaju ukomponirane stvarne sile poput gravitacije i stvarna svojstva različitih materijala, što im omogućava vrlo realan prikaz simulacija. Alati poput *Technomatrix* i *DELMIA* služe za simulaciju autonomnih robota, proizvodnih traka ili procesa, gdje se ispituje njihova efikasnost, ergonomske uvjete za radnike i nedostaci u realnom vremenu. Druga vrsta alata koristi se za realne simulacije za ispitivanje aerodinamičkih, toplinskih i ostalih svojstva komponenata sustava poput turbina, a neki od alata koji se tu koriste su *Simcenter STAR-CCM+* i *OpenFOAM*.



Slika 7. Primjer alata za simulacije u VR [17]

Alati za obuku radnika simuliraju stvarne obuke pri kojima radnici stječu iskustva u kontroliranoj okolini gdje mogu izvoditi kompleksne i zahtjevne vježbe. Ovaj tip obuke pruža radnicima stjecanje nužnog iskustva prije nego što simulirane vježbe krenu izvoditi u stvarnome svijetu. Pretežito se taj tip alata koristi u medicini, građevini, strojarstvu, vojsci i sličnim strukama i neki od programa u kojima se može izvoditi ova vrsta treninga su *SimX* i *EON XR*.



Slika 8. Primjer alata za obuku radnika [18]

U okviru ovog rada naglasak je na prvoj grupi alata, odnosno VR softverskih rješenja koja podržavaju integraciju s CAD sustavima. Točnije, u okviru rada su predstavljene mogućnosti

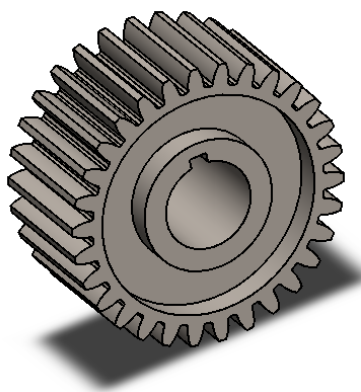
alata *SimLab VR Studio*, te neke dodatne funkcionalnosti koje nudi *SimLab Composer*. Valja naglasiti kako su SimLab alati donekle pogodni i za simuliranje ponašanja konstrukcije i obuku korisnika, no primarna im je funkcionalnost uvoz i modeliranje interakcija s CAD modelima.

2.3 Pregled dostupnih formata za vizualizaciju

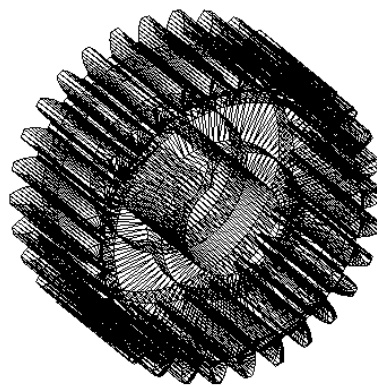
CAD model je digitalni prikaz fizičkog proizvoda ili sustava izrađenih pomoću računalnih alata za konstruiranje. Trodimenzionalni CAD modeli izrađuju se u specijaliziranim programima za modeliranje pomoću značajki ili površina, kao što su *SolidWorks*, *CATIA*, *Siemens NX*, *PTC Creo*, *Autodesk Inventor* i dr. Svaki od ovih alata koristi izvorni način zapisa geometrije modela, koji omogućuje uređivanje pojedinih značajki u bilo kojem trenutku, dok se za razmjenu modela između različitih programa najčešće koriste tzv. neutralni formati, pri čemu se gubi mogućnost brzog i jednostavnog uređivanja značajki od kojih je model izgrađen.

Izvorni formati i neki od neutralnih formata se pri vizualizaciju oslanjaju na rubni prikaz modela (eng. *Boundary Representation*, odnosno *B-Rep*), kod kojeg su granice modela definirane površinama, bridovima i vrhovima, čime se postiže visoka točnost i detaljan prikaz složenih modela. Međutim takva vrsta prikaza nije predviđena za vizualizaciju unutar virtualne stvarnosti i zbog toga je geometriju modela potrebno „prevesti“ u drugačiji oblik, odnosno provesti kroz proces triangularizacije.

Triangularizacija je postupak pretvaranja složenih površina u mrežu trokutastih ploha zbog lakšeg obrađivanja i renderiranja u 3D okruženju. Razlog korištenja trokutastih ploha (tzv. faceta) leži u tome da je su one uvijek planarne, tj. leže u jednoj ravnini, što ih čini najjednostavnijim oblikom za prikaz unutar 3D prostora. Pri procesu triangularizacije mogu nastati problemi s latencijom. Stoga kako bi poboljšali iskustvo u VR-u i smanjili latencije često se koriste algoritmi za pojednostavljenje mreža (eng. *mesh simplification algorithms*) koji smanjuju kompleksnost CAD modela i pri tome zadržavajući najbitniju strukturu [19].



Slika 9. B-rep model



Slika 10. Triangulariziran model

Neki od najčešćih formata koji se koriste za rad u virtualnoj stvarnosti su .stl, .obj i .fbx. Format .stl koristi isključivo trokute za opisivanje geometrije modela, što ga čini jednostavnim, ali ograničava pri opisivanju složenijih modela. Dok formati .obj i .fbx podržavaju trokute za opisivanje geometrije, ali mogu opisivati i složenije modele pomoću četverokuta i većih mnogokuta [20]. Većinu modela u VR-u opisuje se pomoću trokuta radi optimizacije performansi i bržeg renderiranja. Vrlo često se koriste i specijalizirani programi kao što su *Blender* i *3ds MAX* koji omogućuju kontrolu nad gustoćom trokuta.

2.4 Pregled mogućih interakcija između korisnika, proizvoda i okruženja

Postoje različite vrste interakcije koje virtualna stvarnost nudi u odnosu na klasični prikaz na ekranu. Na primjer, korisnicima omogućuje da proizvod proučavaju u stvarnoj veličini, dočaravajući time osjećaj za dimenzije proizvoda, odnos različitih dimenzija i položaj proizvoda u odnosu na prostor u kojem se nalazi, što može rezultirati otkrivanjem problema u oblikovanju proizvoda. Virtualna stvarnost također nudi korisniku opciju kretanja oko proizvoda i mogućnost da prouči model iz bilo kojeg kuta.

Jedna od najbitnijih stavki virtualne stvarnosti jest što omogućuje korisniku da uhvati objekte te ih jednostavno i efikasno premješta, rotira ili skalira u virtualnom okruženju koristeći kontrolere u stvarnom svijetu, što može predstavljati probleme u klasičnom pristupu koristeći miš i tipkovnicu. Također dodatno olakšava rastavljanje sklopova, omogućuje detaljnu analizu komponenti i pomicanje komponenata koje zaklanjaju pogled na unutrašnjost sklopa.



Slika 11. Prikaz interakcije u realnom i virtualnom svijetu [21]

Virtualna stvarnost također nudi slobodu stvaranja interaktivnih iskustva gdje korisnici sami oblikuju događaje koji se zbivaju ako se napravi određena radnja. Primjer može biti da pritiskom gumba u virtualnom okruženju pokreću razne animacije, video ili zvučne efekte i mijenjaju okolinu unutar virtualne stvarnosti. Također, VR alati nude i suvremenije funkcije poput glasovnih naredbi i naredbi gestama ruku kojima korisnik dodatno može unaprijediti

svoje virtualno iskustvo. Ovaj oblik interaktivnosti može se primijeniti na sve sustave u kojima korisnici sami postaju stvaraoci vlastitih iskustva u virtualnoj stvarnosti, samostalno kontrolirajući događaje unutar okruženja prema svojim željama i osobnim sklonostima.

2.5 Pregled mogućnosti prilagodbe proizvoda u VR

Virtualna stvarnost omogućuje korisniku prilagodbu proizvoda u stvarnom vremenu, što doprinosi poboljšavanju procesa oblikovanja, razrade i prezentacije proizvoda. Jedna od ključnih mogućnosti je promjena materijala, tekstura i boja modela proizvoda unutar virtualne stvarnosti, čime se omogućuje korisnicima prikazivanje modela različitih izgleda i karakteristika bez potrebe za izradom prototipa.



Slika 12. Prvobitni prikaz automobila [22]



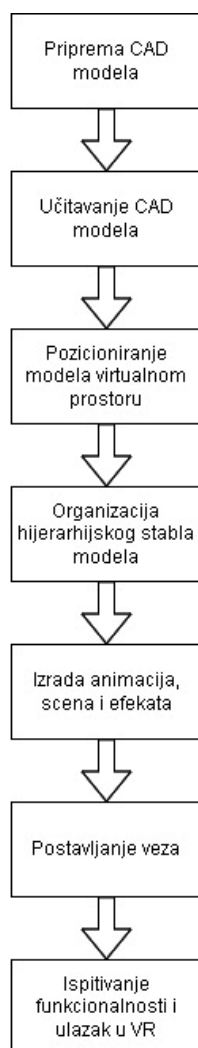
Slika 13. Prikaz automobila nakon promjene boje i teksture [22]

VR alati omogućuju korisnicima dodavanje, uklanjanje i promjenu komponenata, što ih čini idealnim za kreiranje proizvoda prema različitim zahtjevima. Mogućnost skaliranja proizvoda i promjene dimenzija olakšava kreiranje proizvoda unutar virtualnog okruženja gdje se posebna pozornost posvećuje samoj ergonomiji, proporcijama modela i uklapanju proizvoda u okolinu. Dodatna prednost je mogućnost promjene predefiniраниh položaja objekata u prostoru, poput rasporeda sadržaja u prostoriji, gdje korisnik bez imalo uloženog napora prilagođava raspored elemenata unutar prostorije prema vlastitim željama. Također, korištenjem virtualnih efekata koji su ugrađeni u VR alate i njihovim prilagođavanjem unutar okoline može se stvoriti realan prikaz modela proizvoda i njihovih funkcija.

3. METODOLOGIJA

Svrha ovog poglavlja je pravilna izrada interaktivnog virtualnog okruženja. Detaljno su opisani koraci pripreme i uvoza modela, modeliranje i programiranja interakcija između korisnika, modela i okoline, te ispitivanje konačnih modela u virtualnoj stvarnosti.

Postupak izrade interaktivnog virtualnog okruženja sastoji se od 7 koraka prikazanih na slici 14. Metodologija je formulirana na temelju sve obuhvatne primjene alata za izradu različitih modela, te je neke primjere moguće vidjeti u poglavlju 4. gdje su prikazani detaljni hodogrami izrade modela. Također u ovom poglavlju su opisani primjeri popraćeni smjernicama i primjerima najbolje prakse za što efikasnije kreiranje interaktivnog virtualnog okruženja. Prvi korak glasi priprema CAD modela, gdje korisnik jasno definira nazive modela i organizira hijerarhijsko stablo modela prema uputama u točki 3.1. Također, potrebno je pravilno dodjeljivanje materijala i tekstura modelu zbog kasnije mogućnosti promjene materijala i optimalnog rada računala. U drugom koraku, učitavanje CAD modela, navedene su upute za pretvorbu formata koji je kompatibilan s alatom za VR, te su navedeni alati koji omogućuju pretvorbu u željeni format. Bitno je za napomenuti da postoje alati poput *SimLab VR* koji podržavaju formate raznih CAD sustava bez potrebe za pretvorbu formata, te je kod tih alata najbolje koristiti izvorne formate. U trećem koraku, pozicioniranje modela unutar virtualnog prostora, prikazani su način za postavljanje modela unutar virtualnog prostora koristeći točku za pozicioniranje, te su dane smjernice na koji način korisnik može najefikasnije pozicionirati modele. U koraku organizacije hijerarhijskog stabla modela opisani su alati koji se koriste pri pravilnoj organizaciji, te su dodatno objašnjenje opcije izbornika koji se javlja pritiskom na model u hijerarhijskom stablu. U petom koraku, izrada animacija, scena i efekata, opisan je detaljan proces izrade animacije na primjeru otvaranja vrata. Također, opisan je proces pohranjivanja scena, te različiti uvjeti koji se postavljaju pri njihovom pohranjivanju. Opisani su i različiti načini postavljanja efekata unutar virtualnog prostora s obzirom na vrstu efekta. Zatim u koraku postavljanja veza povezujemo prethodno izrađene animacije, efekt i scena sa modelima unutar virtualnog prostora. Mogu se koristiti 2 pristupa pri postavljanju veza. Prvi je postavljanje veza unutar alata *Training Buildera*, gdje korisnik pomoću vizualnog programiranja povezuje događaje i odgovore sa scenama, animacijama ili efektima. Drugi oblik postavljanja veze odnosi se na direktno postavljanje veze sa modelom unutar virtualne stvarnosti. Zadnji korak, ujedno i najbitniji odnosi se na kontinuirano preispitivanje funkcionalnosti postavljenih veza, te postavljanje početnog položaja korisnika unutar virtualne stvarnosti.



Slika 14. Dijagram metodologije

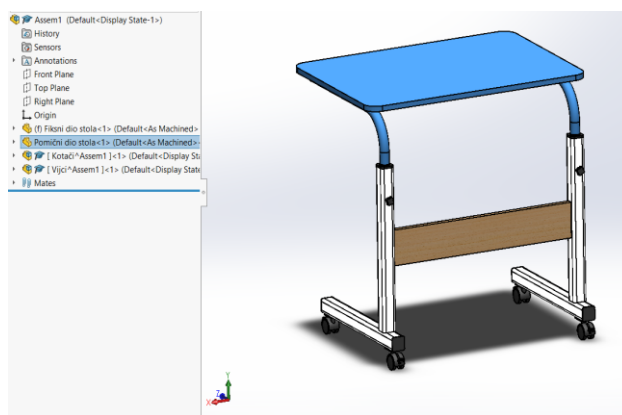
3.1 Priprema CAD modela

Pri izradi CAD modela koji će biti vizualizirani i simulirani u virtualnom okruženju sama priprema kreće još u standardnom CAD sustavu izvan programa koji su specijalizirani za VR. Potrebno je već pri izradi CAD modela dodijeliti nazive dijelova radi lakšeg snalaženja u drugom programu. U CAD sustavu potrebno je postaviti jasnu strukturu modela sa vezama radi lakšeg pozicioniranja unutar alata za VR. Potrebno je organizirati hijerarhijsko stablo već u fazi CAD modeliranja prema predviđenim interaktivnim radnjama unutar VR-a i odvojiti dijelove koji se zasebno manipuliraju, što znači da je potrebno voditi računa o tijelima koje sačinjavaju model, te da se bilo koje tijelo ili dio modela, za koji se želi ostvariti posebno modeliranje interakcije, mora odvojiti od cjeline već u samom CAD modelu (Slika 16.). Prilikom izrade modela nužno je uzeti u obzir ispravnost veličine i proporcija modela, jer se virtualno okruženje prikazuje u stvarnoj veličini. Također, CAD model mora sadržavati i prostor predviđen za kretanje, tj. mora se osigurati tlo po kojem se korisnik kreće, jer će pod djelovanjem gravitacije

bez podloge pasti. Potrebno je promisliti o aspektima materijala i teksture modela. Primjena kvalitetnijih tekstura povećava vjernost prikaza modela unutar virtualne stvarnosti, ali i dodatno povećava zahtjeve za procesiranjem. Također, potrebno je svim komponentama sklopova već u CAD modeliranju dodijeliti pripadajuće materijale (Slika 15.).



Slika 15. Dodjela materijala u fazi izrade CAD modela



Slika 16. Pravilno grupiranje komponenti koje se zajedno pomiču

Unutar alata *VR Studia* nije moguće sklopove koji sadrže komponente s identičnim materijalom promijeniti u komponente načinjenih od različitih materijala, već promjenom materijala bilo koje od komponenti mijenja se i materijal ostalih. Način da se zaobiđe ovo pravilo je kopiranje modela pomoću funkcije *Copy* i zasebno učitavanje modela s istim materijalom.

VR Studio ne nudi alate za modifikaciju modela u sklopu alata, zato je potrebna točnost i provjera ispravnosti modela prije učitavanja. U slučaju da tijekom procesa kreiranja interaktivnosti modela naiđemo grešku i potrebna je konfiguracija modela uz pomoć CAD sustava, gube se sve interakcije koje su vezane za model. Jedina opcija za modifikaciju modela koju nudi *VR Studio*, a i većina alata je skaliranje modela.

U nastavku su sumirane smjernice i primjeri najbolje prakse za pripremu CAD modela prije njihovog učitavanja u alate specijalizirane za virtualnu stvarnost:

- Dodjeljivanje naziva modela
- Jasna struktura modela
- Pravilna organizacija hijerarhijskog stabla modela
- Kreiranje prostora za kretanje korisnika
- Dodjeljivanje pripadajućih materijala komponentama

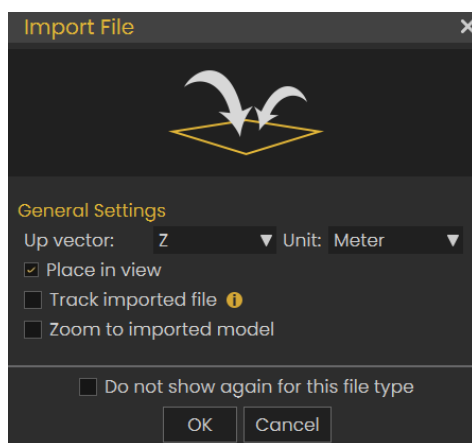
3.2 Učitavanje CAD modela

Već je prethodno spomenuto da *VR* alati zahtijevaju trijangularizaciju modela, odnosno da se oslanjaju na specifične formate 3D modela prije nego ih je moguće vizualizirati. Pretvorbu u

ovakve formate ponekad je moguće provesti u samim CAD sustavima ili se za to koriste druga programska rješenja. Ipak, pojedini VR alati, kao što je *VR Studio*, omogućuju direktno učitavanje izvornih modela, odnosno sami provode pretvorbu u tražene formate. Na sličan način funkcioniraju i CAD sustavi koji imaju vlastite alate za virtualnu stvarnost. *VR Studio*, alat koji je korišten u okviru ovog rada, nudi mogućnost učitavanja gotovo svih formata komercijalno dostupnih CAD sustava, npr. *Solidworks*, *CATIA*, *Inventor*.

Ako VR alat ne nudi automatsku pretvorbu u traženi format, moguće je koristiti specijalizirana rješenja za prijevod modela u formate kao što su .obj, .fbx ili .gltf (prethodno je potrebno provjeriti koji su formati podržani). U slučaju da CAD sustav ne nudi pretvorbu u formata koji se koristi za VR potrebno je koristiti specijalizirane alate kao što su *Blender*, *Fusion 360*, *3D Coat* ili *Meshlab*. Navedeni alati se koriste kao pretvarači formata, tako da se unutar njih učitava željeni model u formatu .stl, .step. ili .iges, te se izvrši izvoz modela u najčešće u .obj ili .fbx formatu. Nakon što su modeli pohranjeni u kompatibilnim formatima oni se mogu učitati unutar alata za VR.

Prilikom učitavanja modela u VR okruženje potrebno je pripaziti na njegovu orijentaciju. Na primjer, u *VR studiju* se odabire vertikalna os s kojom se model poravnava i mjerne jedinice u kojima se model uvozi. Najbolje je odabrati opciju *Place in view* kako bi se model uvijek ubacio unutar prostora koji korisnik vidi (Slika 17.). Također bitno je napomenuti prilikom učitavanja modela u *SimLab*, on se učitava bez *Mateova* (spajanja) što znači da se komponente unutar *SimLaba* mogu pomicati neovisno jedna o drugoj.



Slika 17. Postavke učitavanja modela u alatu *VR Studio*

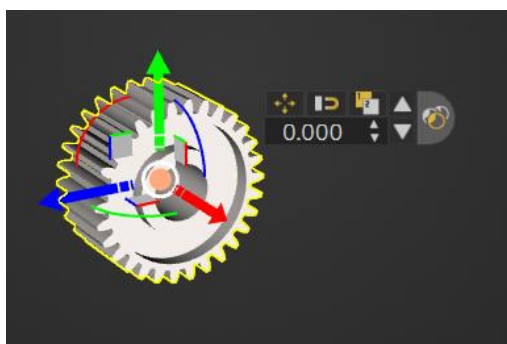
U nastavku su sumirane smjernice i primjeri najbolje prakse za učitavanje CAD modela unutar alata specijaliziranih za virtualnu stvarnost:

- Koristiti izvorni format u slučaju da ga alat za virtualnu stvarnost podržava
- Ako je potrebno koristiti alate za pretvorbu formata

- Pripaziti na orijentaciju prilikom učitavanja modela

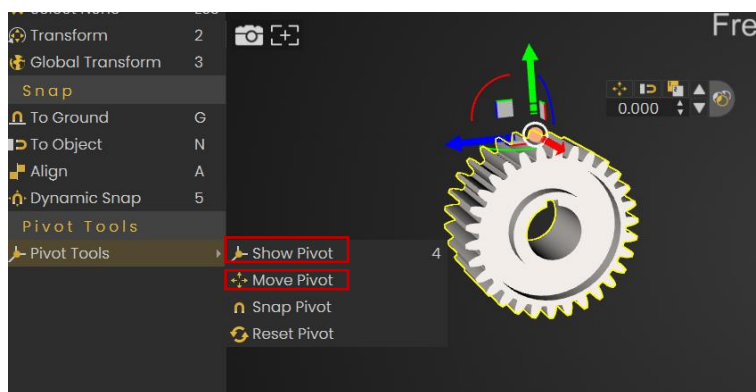
3.3 Pozicioniranje modela u virtualnom prostoru

Nakon učitavanja modela potrebno je pozicionirati ga s obzirom na okruženje. Model je u pravilu moguće pomicati u smjeru triju glavnih osi i rotirati ga oko njih. Uz to je moguće pomicati model u nekoj ravnini. Na primjer, u alatu *VR Studio* je pomicanje u ravnini moguće koristeći funkcionalnost pravokutnika, kao što je prikazano na slici 18. Za brže pozicioniranje moguće je koristiti opciju *Snap To Object* (prihvat na objekt), koja pozicionira model na površinu druge komponente. Pomicanjem crvene točke u središtu sustava za pomicanje može se skalirati objekt.



Slika 18. Pozicioniranje modela u alatu *VR Studio*

U nekim situacija potrebna je promjena položaja sustava za pozicioniranje modela, što može biti bitno pri promjeni osi oko koje se model rotira. Sustav za pozicioniranje modela premještamo pomoću funkcija *Move Pivot* (pomak točke za pozicioniranje) i *Snap Pivot* (prihvat točke za pozicioniranje) (Slika 19.).



Slika 19. Premještanje točke za pozicioniranje u alatu *VR Studio*

U nastavku su sumirane smjernice i primjeri najbolje prakse za pozicioniranje modela u virtualnom prostoru:

- Koristiti površine koje se moraju naslanjati jedna na drugu za precizno pozicioniranje

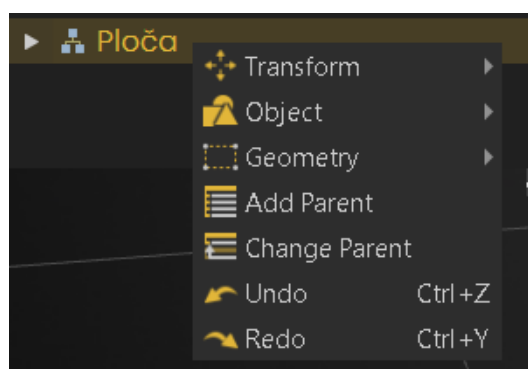
- Pomaknuti točku za pozicioniranje na dio modela gdje se može lakše manipulirati njegovim položajem u prostoru
- Za objekte koji moraju biti precizno pozicionirani poželjno je unijeti točnu vrijednost (koordinata ili kuta)
- Pomaknuti točku za pozicioniranje na mjesto rotacije

3.4 Organizacija hijerarhijskog stabla modela

Jedna od najbitnijih stavki za izvođenje interaktivnosti jest pravilno organiziranje hijerarhijskog stabla modela. U hijerarhijskom stablu nalaze se svi podsklopovi i pojedinačna tijela (komponente) koji su učitani u virtualnu okolinu.

U alatu *VR Studio* se pritiskom desne tipke miša otvaraju se dodatne opcije za upravljanje modelima (Slika 20.). U izborniku *Transform* nalaze se opcije za pomicanje modela u virtualnoj stvarnosti, dok se u izborniku *Object* nalaze opcije za prikaz i sakrivanje komponenti, fiksiranje pozicije, brisanje i kopiranje komponenti. Prikaz odnosno sakrivanje modela moguće je i korištenjem prečaca: pritiskom slova „S“ za prikaz ili slova „H“ za sakrivanje.

Pri organizaciji stabla najviše se koriste funkcije *Add Parent* (dodavanje „roditelja“ objektu ili skupini objekata) i *Change Parent* (promjena „roditelja“ objekta). Točnije, funkcija *Add Parent* služi za dodavanje novog podsklopa, dok se funkcija *Change Parent* koristi za premještanje komponenata između podsklopova (Slika 20.). Parent („roditelj“) je glavni sklop koji kontrolira kretanje i ponašanje podsklopova i komponenata koji su mu pridruženi. On se koristi pri grupiranju komponenti koje se zajedno pomiču, tj. za lakšu manipulaciju objektima, ispravnu simulaciju pokreta i ispravne interakcije s korisnikom.



Slika 20. Opcije za modele u hijerarhijskom stablu u alatu *VR Studio*

U izborniku *Geometry* nalaze se korisne funkcije *Break Geometry* (podjela geometrije) i *Break Faces* (podjela ploha), koje se koriste za podjelu volumena ili ploha modela na nezavisne dijelove. *Break Face* se koristi za odvajanje samo površinskih dijelova modela, pritom

ostavljajući unutarnju strukturu netaknutom, dok se *Break Geometry* se koristi za podjelu volumena, čime dijelimo objekt na manje komponente. Obje funkcije mogu biti korisne ako je potrebno dodatno podijeliti volumen ili površine komponenata u manje dijelove zbog lakše manipulacije ili boljeg pregleda na unutrašnjost modela.

Bitno je komponente i efekte koji se zajedno pomiču unutar virtualne stvarnosti premjestiti u isti podsklop. Dijelove koji se pomiču najbolje je odvojiti u posebne podsklopove.

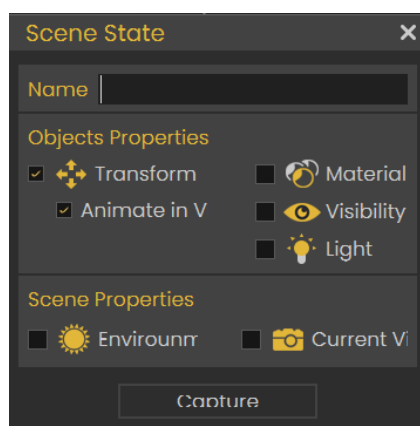
U nastavku su sumirane smjernice i primjeri najbolje prakse za organizaciju hijerarhijskog stabla modela:

- Odrediti glavne sklopove i grupirati komponente prema njima
- Postaviti komponente i efekte koji se zajedno pomiču u isti *Parent*
- Koristiti prečac pritiska slova „H“ i „S“ za sakrivanje, odnosno prikazivanje komponenti radi lakšeg kreiranja virtualnog okruženja
- Koristiti funkcije *Break Geometry* i *Break Faces* za podjelu sklopova na manje dijelove

3.5 Izrada scena, animacija i efekata

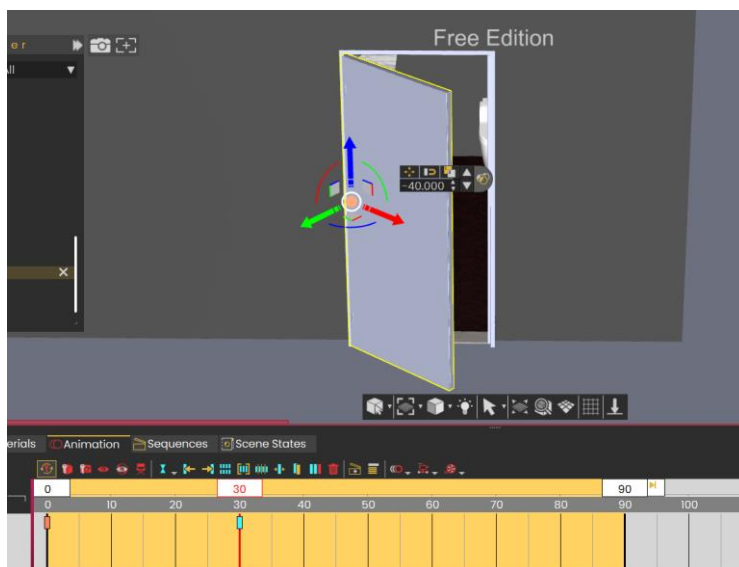
Za stvaranje interaktivnosti potrebno je u virtualnom okruženju izraditi različite scene, (stanja u kojem se model nalazi) animacije i efekte. U alatu *VR Studio* sve pripadajuće funkcije za kreiranje interaktivnosti nalaze se u izbornicima *Scene State*, *Animations* i *VR Effect/Media*.

U izborniku *Scene States* (stanja scene) koristi se funkcija *Capture* (snimanje) koja pohranjuje različite scene unutar virtualnog okruženja. Pri pripremi scena potrebno je u hijerarhijskom stablu odabrati komponente čije se scene pohranjuju i odabrati koja svojstva se pohranjuju. Najčešće se koristi pohranjivanje predefinih položaja, materijala i vidljivosti komponente unutar virtualnog okruženja (Slika 21.). Pohranjena stanja scene nalaze se u izborniku *Scene States*.

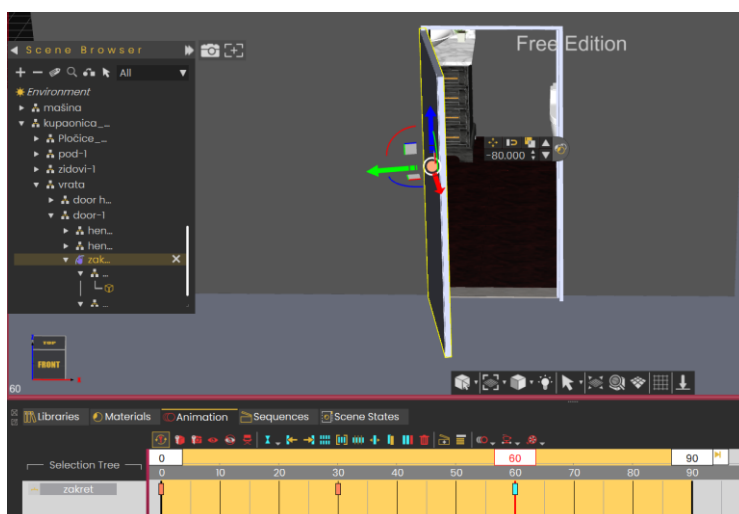


Slika 21. Opcije pohrane stanja scene u alatu *VR Studio*

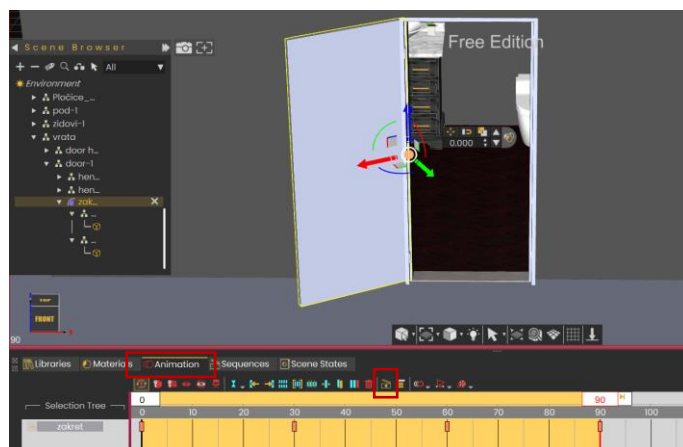
Animacije se kreiraju alatima iz izbornika *Animations* u kojem se nalazi FPS traka s crnim i crvenim pokazivačem. FPS traka omogućuje kreiranje animacije s određenim brojem sličica u sekundi, čime se utječe na tečnost i brzinu animacije. Crni pokazivač određuje trajanje animacije, u *SimLabu* animacija od 30 FPS-a traje jednu sekundu, što znači da primjer animacije od 90 FPS-a prikazane na slici 24 traje tri sekunde. Pomoću crvenog pokazivača određuje se FPS za koji se pohranjuje položaj modela, a koji odgovara točno određenom trenutku vremenske crte. Na primjeru otvaranja vrata (Slika 13.) prvo se pomiče crveni pokazivač na 30 FPS-a i rotiraju vrata za trećinu rotacije, zatim se na 60 FPS-a rotiraju za dvije trećine rotacije i na 90 FPS-a se zarotiraju do krajnjeg položaja. Prilikom pohranjivanja položaja modela za različite vrijednosti FPS-a na traci se pojavljuju pravokutnici koji označavaju upravo te položaje modela. Za izradu animacije potrebno je označiti pohranjene položaje objekta i odabrati *Create An Animation Sequence*. Izrađena animacija nalazi se u izborniku *Sequences*.



Slika 22. Primjer pripreme animacije u alatu *VR Studio* za položaj vrata na 30 FPS-a

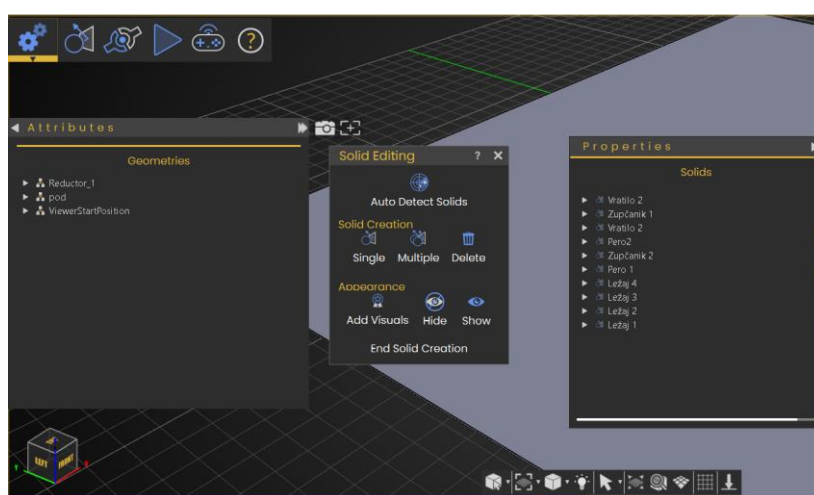


Slika 23. Primjer pripreme animacije u alatu *VR Studio* za položaj vrata na 60 FPS-a



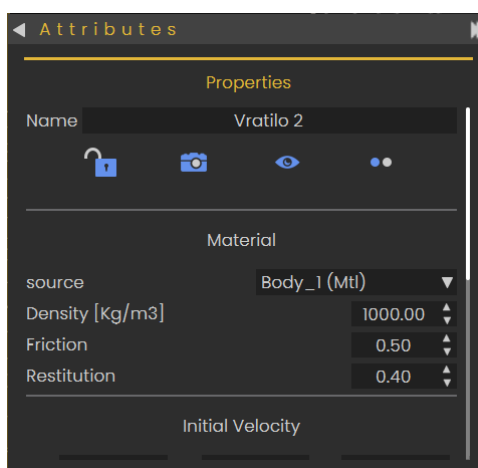
Slika 24. Primjer pripreme animacije u alatu *VR Studio* za položaj vrata na 90 FPS-a

Unutar SimLab Composea animacije se također mogu kreirati na način da se prvo kreira simulacija unutar alata *Simulation*. Za kreiranje simulacije potrebno je odrediti komponente za koje će se stvarati veze, te se komponente označuju kao *Solid* (kruta tijela). Za dodavanje krutih tijela koristi se izbornik *Solids*. Potrebno je odabrati u hijerarhijskom stablu modela komponente koja će postati kruta tijela, te pritisnuti na opciju *Single*, koja služi za dodavanje jedne komponente, ili *Multiple* koja služi za dodavanje više komponenti. Kruta tijela moguće je naknadno dodavati. Kada su kreirana kruta tijela, ona se ne smiju pomicati unutar alata *Virtual Reality*, jer će se sva kruta tijela obrisati i izgubit će se sve veze. Nakon ubacivanja krutih tijela preporuča se dodjela naziva krutih tijela. Također za daljnje stvaranje simulacije potrebno je ugasiti izbornik *Solids* pritiskom na njega ili pritiskom na *End Solid Creation*.



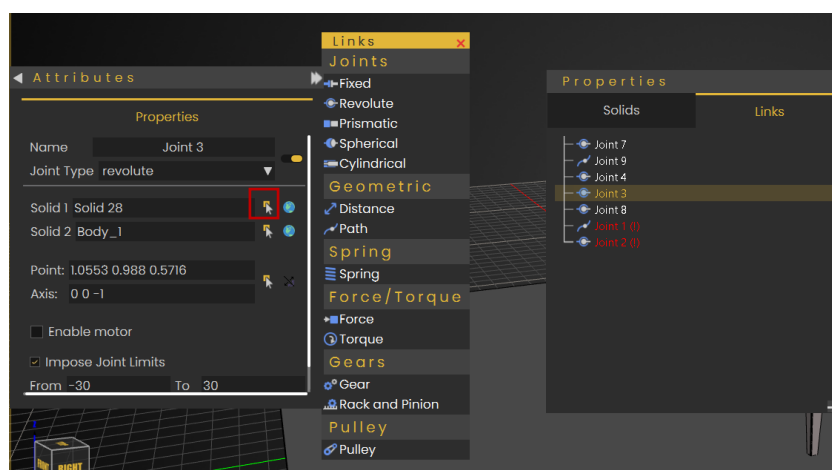
Slika 25. Korištenje izbornika *Solids* u alatu *VR Composer*

Zatim se odabirom komponente unutar virtualnog prostora ili popisa krutih tijela otvara izbornik gdje se tijelo može fiksirati, mogu se uključiti kolizije za tijelo, te se može sakriti i prikazati unutar virtualnog prostora. Također mogu se podesiti bitne informacije o modelu poput gustoće, trenja, mase, volumena i momenti inercije.



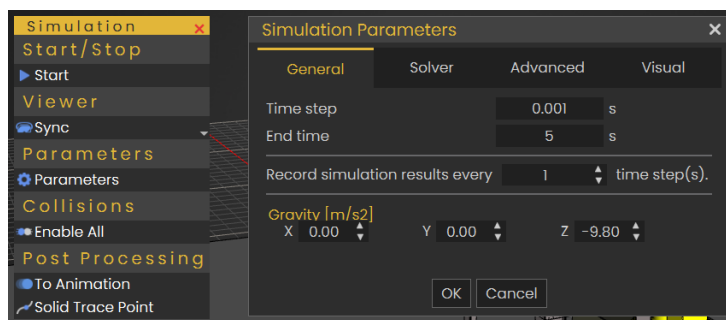
Slika 26. Postavke krutih tijela u alatu *VR Composer*

Nakon što se dodaju kruta tijela kreće se sa postavljanjem veza pomoću funkcija unutar izbornika *Links*. Prvo je potrebno fiksirati neko kruto tijelo npr. postolja. Zatim se na fiksiranu komponentu dalje mogu nadograđivati veze. *SimLab Composer* nudi širok spektar veza koje se mogu postaviti između modela (Slika 26.) za izradu simulacija. Nakon kreacije veze, one se nalaze unutar popisa *Links*. Za odabir komponenata može se odabrati komponenta unutar virtualnog prostora ili iz popisa krutih tijela, a ako se želi naknadno odabrati potrebno je pritisnuti na ikonu miša. Mnoge veze nude dodatne opcije, npr. veza *Revolute* nudi opciju *Enable motor* kojom se može pokretati vratilo, te nudi *Impose Joint Limits* pomoću koje ograničavamo kut zakretanja.



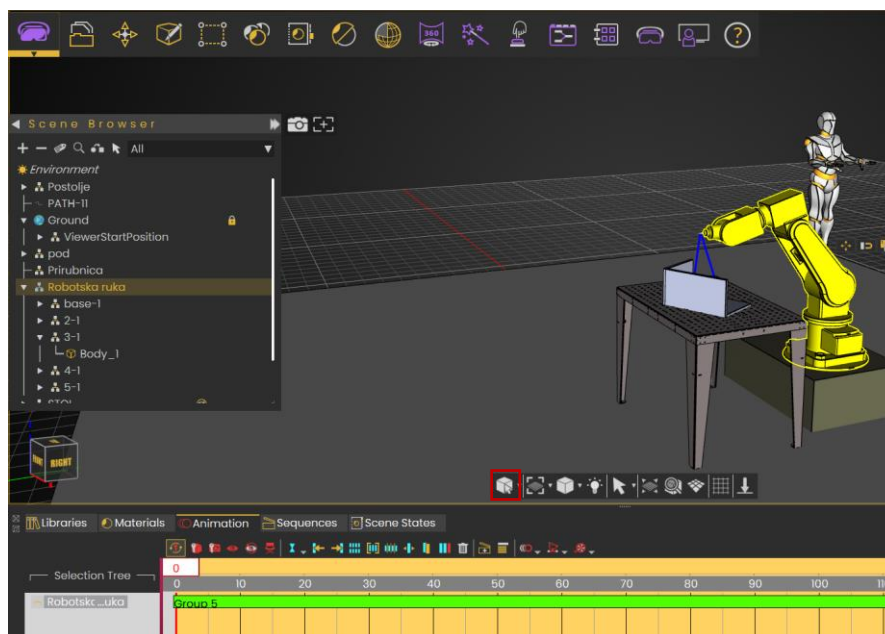
Slika 27. Prikaz funkcije *Links* u alatu *VR Composer*

Unutar izbornika *Simulation* nalaze se opcije za pokretanje i pauziranje simulacije, čime se pregledava animacija u bilo kojem trenutku kreiranja animacije. Također, nalazi se i izbornik *Parameters* gdje se može podešavati gravitacija, trajanje simulacije i ostale opcije. Odabirom opcije *Enable All* uključuje se svojstvo kolizije za sve komponente koje su odabrane kao kruta tijela.



Slika 28. Opcije funkcije *Simulation* u alatu *VR Composer*

Za spremanje simulacije kao animacije koristi se opcija *To Animation* (Slika 28.). Prvo je bitno da se cijela simulacija odvije unutar alata za simulacije pomoću opcije *Start* (Slika 28.). Zatim se odabire opcija *To Animation* gdje se odabire FPS animacije. Treba se naglasiti da animacija ne traje jednako dugo kao i simulacija, već se ukupni FPS animacije dobiva množenjem duljine trajanja simulacije i odabranim FPS-om. Pošto znamo da 30 FPS-a traje 1 sekundu unutar *SimLaba*, animacija će trajati ukupni FPS animacije podijeljen sa 30. Nakon toga potrebno je ući u alat *Virtual Reality* i otvoriti izbornik *Animation*. Za spremanje animacije koristi se opcija *Create An Animation Sequence*, za koju je potrebno u hijerarhijskom stablu odabrati komponente za koje želimo kreirati animaciju i na FPS traci odabrati zeleni pravokutnik. Spremljena animacija se nalazi u izborniku *Sequences*.



Slika 29. Kreiranje animacije pomoću simulacije u alatu *VR Composer*

U alatu *SimLab VR Studio* mogu se kreirati efekti koji dodatno poboljšavaju osjećaj realnosti virtualnog okruženja. Efekti se nalaze u izborniku *VR Media/Effects*. Većina efekata se unutar 3D prostora prikazuju kao usmjerivači koje je potrebno pozicionirati na predviđena mjesta, dok je za određene efekte potrebno kreirati ravnine i geometrijska tijela čiji oblik efekti poprimaju.

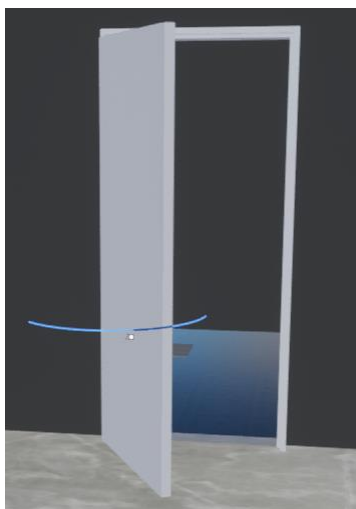
Za kreiranje ravnina i geometrijskih tijela koristi se funkcija *Shapes* (oblici) koja se nalazi u izborniku *Create*. Označavanjem efekata u 3D prostoru ili hijerarhijskom stablu otvara se izbornik koji nudi dodatne opcije njihove vizualizacije.

U nastavku su sumirane smjernice i primjeri najbolje prakse za izradu scena, animacija i efekata u specijaliziranom alatu za virtualnu stvarnost:

- Pravilno odabrati uvjete pohranjivanju pri pohranjivanju scena
- Koristiti veći broj FPS-a za glatke animacije
- Pozicionirati usmjerivač pomoću funkcije *Snap To*
- Kreirati oblike koje efekti poprimaju pomoću funkcije *Draw On Objects* unutar izbornika *Create Shapes*
- Uključiti opciju *Enable Collision* za realniju vizualizaciju i onemogućavanje ulaska jedne komponente u drugu
- Krenuti sa kreiranjem simulacije tek nakon što su svi modeli na konačnoj poziciji

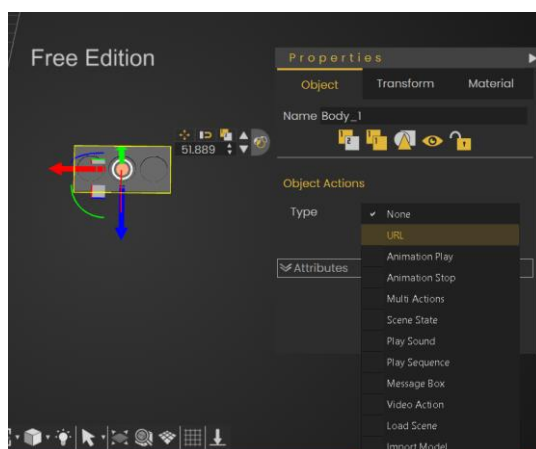
3.6 Postavljanje veza

Postavljanjem veza povezuju se efekti, animacije i scene s pripadajućim modelima, čime se postiže interaktivnost. Za ručno hvatanje modela (manipulaciju) koriste se funkcije *Make Grabbable* (priredi prikladnim za hvatanje) i *Make Grabbable Sequence* (priredi sekvencu hvatanja) koje se nalaze u izborniku *Interactions* (interakcije). Pomoću funkcije *Make Grabbable* omogućuje se korisniku da uhvati odabrani modela unutar virtualne stvarnosti. Funkcija *Make Grabbable Sequence* omogućuje pomicanje objekata unutar virtualne stvarnosti prema kreiranoj animaciji, npr. otvaranje i zatvaranje vrata (Slika 25.). Potrebno je odabrati prethodno kreiranu animaciju za objekt i objekt pri izradi funkcije *Make Grabbable Sequence*.



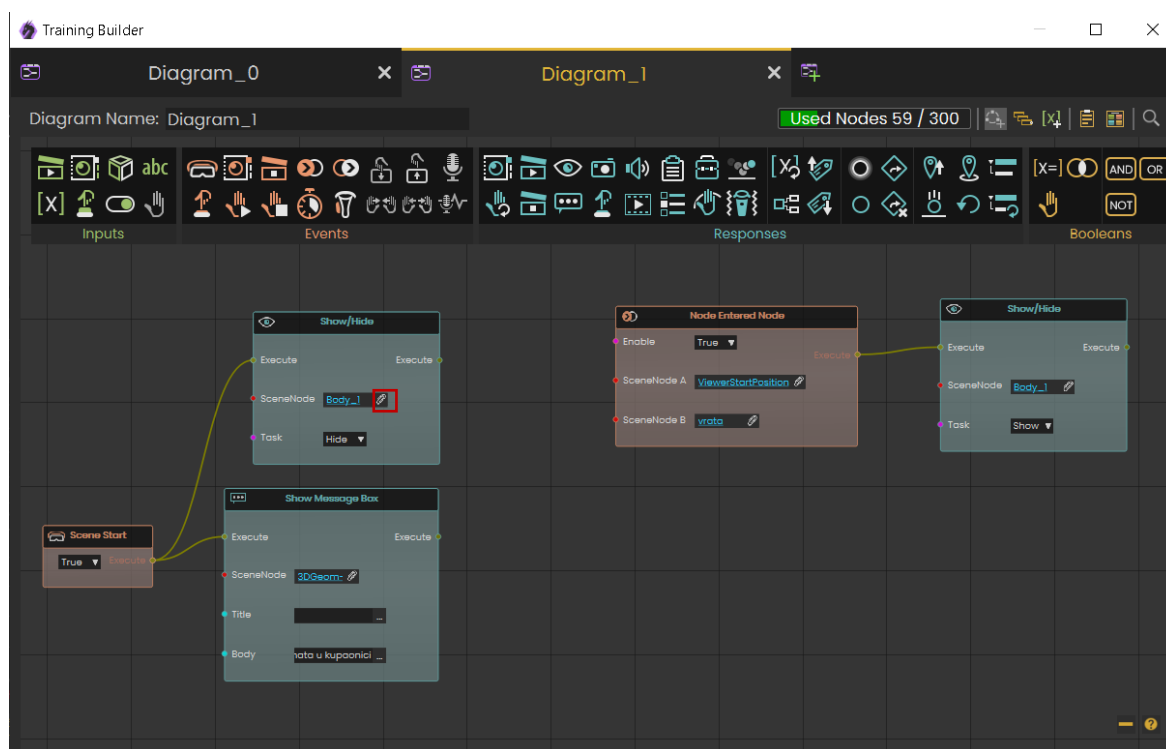
Slika 30. Primjer animacije otvaranja vrata u alatu *VR Studio*

Postoje dva načina povezivanja objekata. Za prvi način potrebno je odabrati model, te se potom otvara izbornik s desne strane (Slika 26.). U izborniku se pod *Object Actions* odabire vrsta interakcije te se ona povezuje sa scenom ili animacijom.



Slika 31. Povezivanje modela u alatu VR Studio

Za drugi način postavljanja veza koristi se alat *Training Builder* (alat za izradu treninga) koji radi na principu vizualnog programiranja (Slika 27). U *Training Builderu* se mogu odabrati razni događaji koji se povezuju sa odgovorima kako bi se kreirala interaktivnost. Za unošenje objekta u polja čvorova potrebno ih je odabrati u 3D prostoru ili hijerarhijskom stablu i pritisnuti na spajalicu (Slika 27.). Isto vrijedi i za efekte i animacije, samo što se oni odabiru u izbornicima u kojima su pohranjeni.

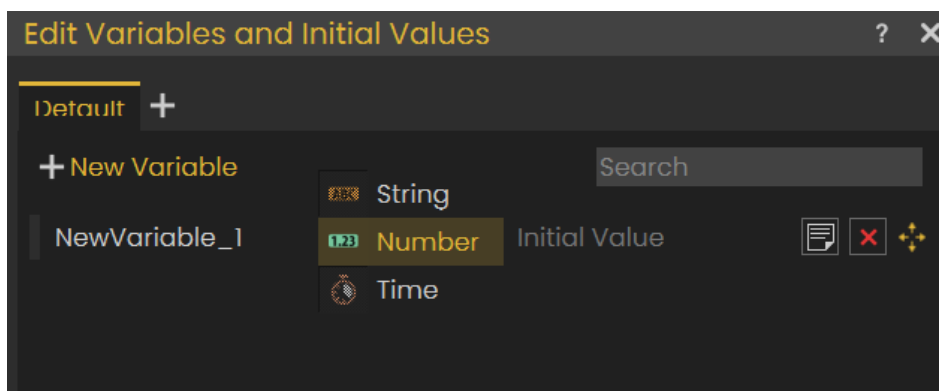


Slika 32. Postavljanje veza unutar *Training Buildera* u alatu VR Studio

Za postavljanje veza koriste se varijable. Varijable se nalaze u izborniku *Edit Variables and Initial Values* (uređivanje varijabli i njihove inicijalne vrijednosti) unutar *Training Buildera* (Slika 28.). Pri kreiranju varijable potrebno je unijeti njen naziv, jedinice i inicijalnu vrijednost (Slika 29.).



Slika 33. Ikona *Edit Variables and Initial Values* u alatu VR Studio



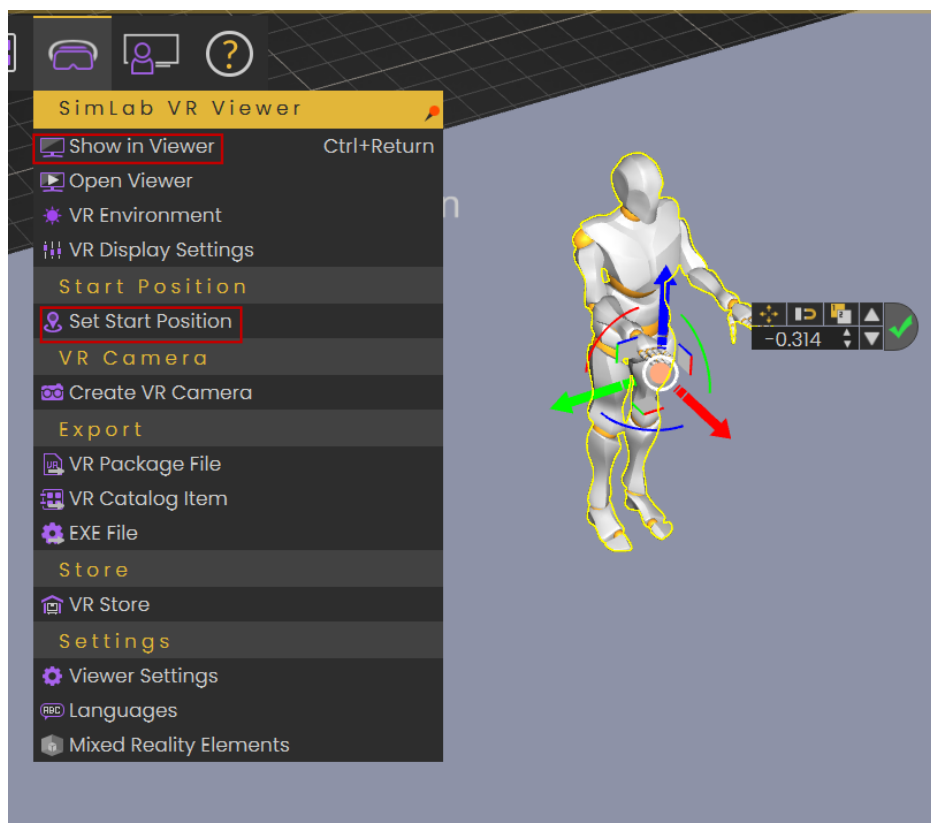
Slika 34. Opcije funkcije *Edit Variables and Initial Values* u alatu VR Studio

U nastavku su sumirane smjernice i primjeri najbolje prakse za postavljanje veza u specijaliziranom alatu za virtualnu stvarnost:

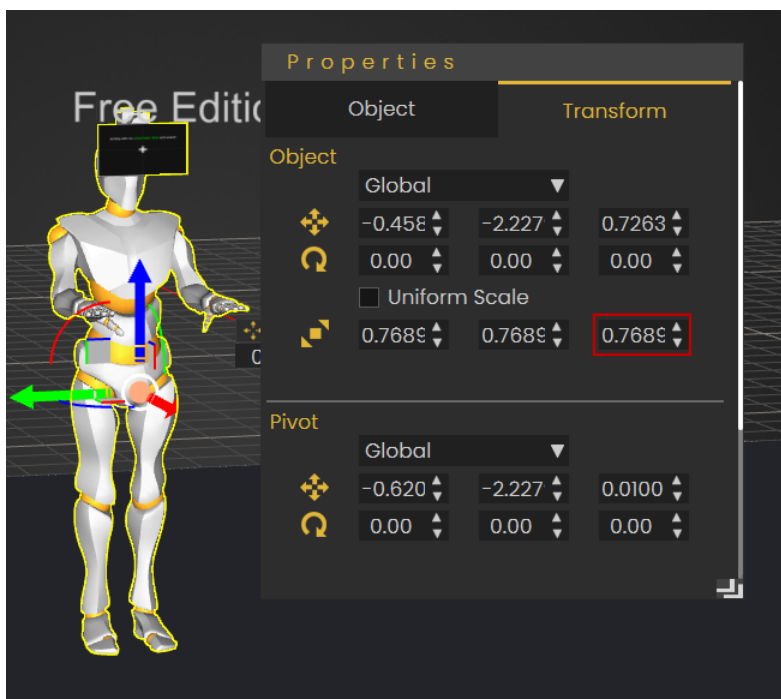
- Koristiti spajalicu za povezivanje objekata unutar *Training Buildera*
- Unutar *Training Buildera*, ukoliko se neka scena ili animacija ponavlja više puta, može se ju odabrati pritiskom u nekoj od događaja gdje je ona već povezana i spojiti pomoću spajalice
- Postaviti događaj *Scene Start* unutar *Training Buildera* za postavljanje u scena, animacija i efekata koji se odvijaju u trenutku kada korisnik uđe u virtualnu stvarnost
- Kreirati varijable za lakše definiranje događaja
- Pripaziti pri funkciji *Node Entered Node* ako se kreira veza pri kojoj korisnik ulazi u kontakt s objektom, jer ako usmjerimo pozivač prema objektu i on počne svijetliti računalo će smatrati da je korisnik stupio u kontakt s objektom
- Ako je potrebno postići da korisnik upravlja pokretom objekta za koji je kreirana animacija koristi se *Make Grabbable Sequence*, a ukoliko želimo da se animacija sama odvije koristi se *Play Sequence*
- Za kretanje unutar *Training Buildera* pritisnuti komandu CTRL i lijevu tipku miša, te koristiti kotačić na mišu za približavanje i udaljavanje
- Rasporediti veze unutar *Training Buildera* radi boljeg snalaženja

3.7 Ispitivanje funkcionalnosti i ulazak u VR

Ispitivanje funkcionalnosti najbolje je provoditi poslije postavljanja svake funkcionalnosti i veze radi lakše identifikacije problema ako dođe do greške ili neželjenog ponašanja interakcija. Za ulazak u VR i ispitivanje funkcionalnosti potrebno je postaviti početni položaj korisnika u virtualnom okruženju (gdje će korisnik započeti pregled konstrukcije u prvom licu). Također, ako u fazi izrade CAD modela nije postavljeno tlo, po kojem se korisnik kreće kako ne bi propadao pod utjecajem gravitacije, ono se može kreirati pomoću funkcije *Make Ground* koja se nalazi u izborniku *VR Media/Effects*. Za kreiranje funkcije potrebno je kreirati ravninu i odabrati ju prilikom kreiranja tla. U alatu VR Studio se to postavlja funkcijom *Set Start Position* (postavljanje početne pozicije) koja je nalazi u izborniku *VR Viewer* (Slika 30.). Pojavljuje se objekt avatara koji se postavlja na željenu poziciju unutar okruženja. Odabirom avatara unutar virtualnog prostora otvara se izbornik gdje se može podešavati visina avatara, a samim time može se podešavati visina korisnika unutar virtualne stvarnosti (Slika 31.). Također visina avatara može se mijenjati skaliranjem. Zatim se unutar izbornika *VR Viewer* odabire funkcija *Show In Viewer* čime se pokreće pregled modeliranog okruženja u virtualnoj stvarnosti. *SimLab VR Studio* virtualnu stvarnost u prvom licu može projicirati na zaslonu računala ili na VR naočalama povezanim na računalo, mobitel ili tablet.



Slika 35. Postavljanje početne pozicije pregleda u alatu VR Studio



Slika 36. Promjena visine avatara u alatu VR Studio

U nastavku su sumirane smjernice i primjeri najbolje prakse za ispitivanje funkcionalnosti i ulazak u VR unutar specijaliziranog alatu za virtualnu stvarnost:

- Kontinuirano ispitivanje funkcionalnosti
- Postaviti podlogu po kojoj se korisnik kreće
- Podesiti visinu avatara prema visini korisnika

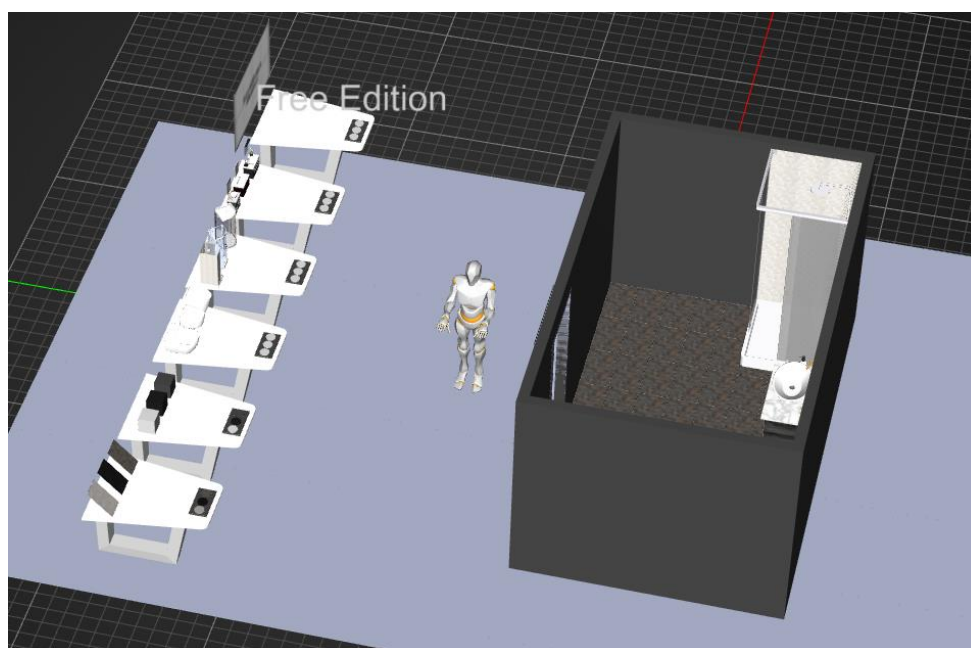
4. PRIMJERI IZRADE INTERAKTIVNIH MODELA

U ovome poglavlju prikazani su detaljni hodogrami kreiranja interaktivnosti unutar virtualne stvarnosti. Prvi primjer interaktivnog modela je prilagodba prostorije, odnosno kupaonice, gdje korisnik odabire između ponuđenih modela izgled kupaonice. Drugi primjer je stvaranje interaktivnosti pomoću efekata čijom primjenom korisnik dodatno unaprjeđuje realnost vizualizacije. Neki od efekata koji se koriste su vatra, voda, fluid i dr. Na zadnjem primjeru prikazan je proces rastavljanja i sastavljanja miksera koji omogućuje korisniku interaktivno upoznavanje sa mehaničkim dijelovima sustava i fazama sastavljanja proizvoda. Svi modeli izrađeni su u alatu *VR Studio*.

4.1 Prilagodba prostorije

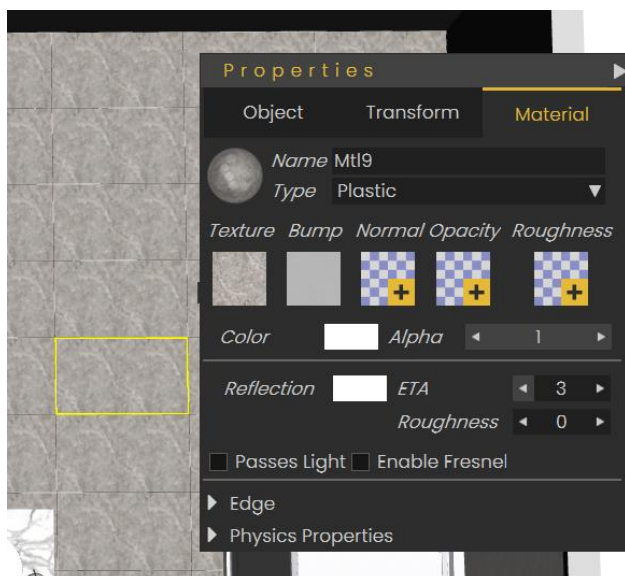
Na primjeru kupaonice prikazane su mogućnosti prilagodbe prostorije prema željama korisnika. S kreiranom interaktivnosti između korisnika i prostorije omogućene su radnje poput promjene boje pločica, promjene modela i pozicija elemenata kupaone.

Nakon učitavanja modela kupaone i svih elemenata postavljamo ih na zadana mjesta unutar virtualnog prostora.



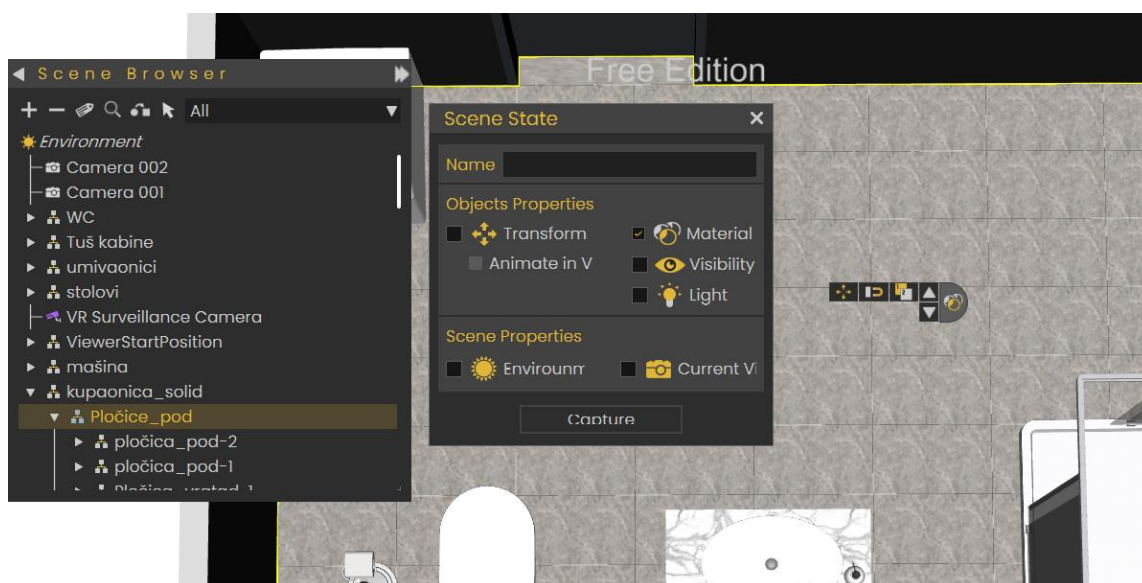
Slika 37. Postavljanje elemenata kupaonice unutar virtualne stvarnosti

Prvo je kreirana veza za promjenu boje pločica. Potrebno je odabrati željene boje ili materijale unutar izbornika *Materials* i za svaki od njih pohraniti scenu s funkcijom *Capture Scene State*. Boja se odabire pritiskom na pločicu, nakon čega se otvara izbornik gdje se unutar opcije *Color* zamijeni boja ili povlačenjem materijala iz izbornika *Materials* na pločicu.



Slika 38. Promjena boje pločica

Za pohranjivanje scena potrebno je označiti u hijerarhijskom stablu objekte čije scene se pohranjuju i unutar *Scene State* izbornika označiti *Materials*, budući da je potrebno pohraniti samo materijal, odnosno boju objekta. Isti postupak se ponavlja za pohranjivanje scena ostalih materijala.



Slika 39. Postavke pohranjivanja scena pločica

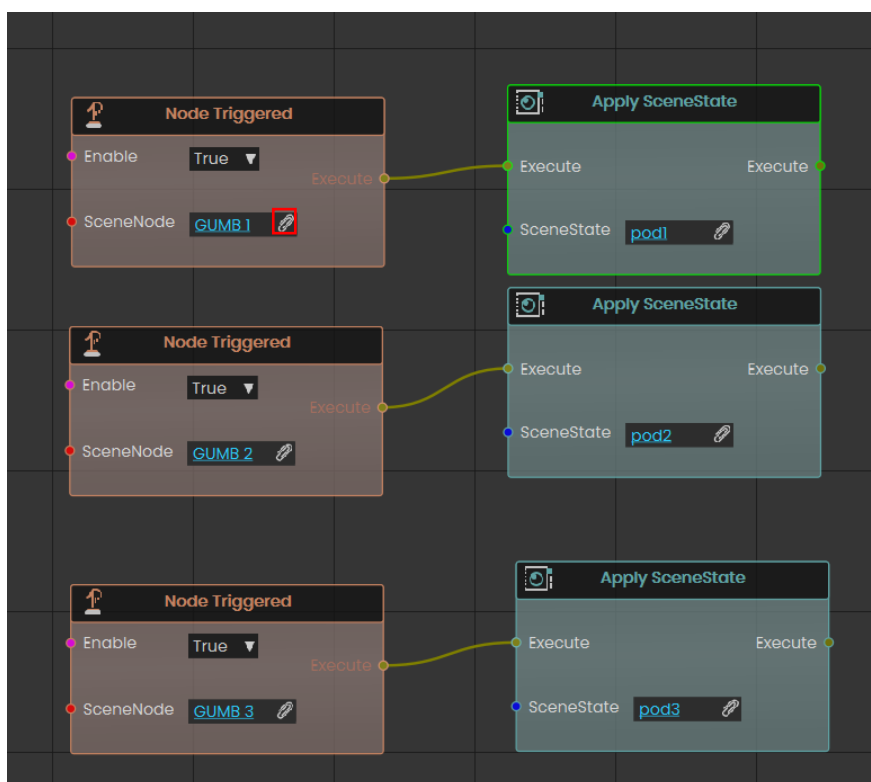
Promjena boje zida funkcionira na identičan način, samo što se odabire zid u hijerarhijskom stablu umjesto pločica pri pohranjivanju scene.

Za promjenu boja ili materijala unutar virtualnog prostora potrebno je kreirati sučelje gdje korisnik mijenja boju. Na stol su postavljeni modeli pločica i kocke sa bojama zida između kojih korisnik može birati. Pritiskom na gumb unutar virtualne stvarnosti istovremeno se mijenja i boja pločica ili zida.



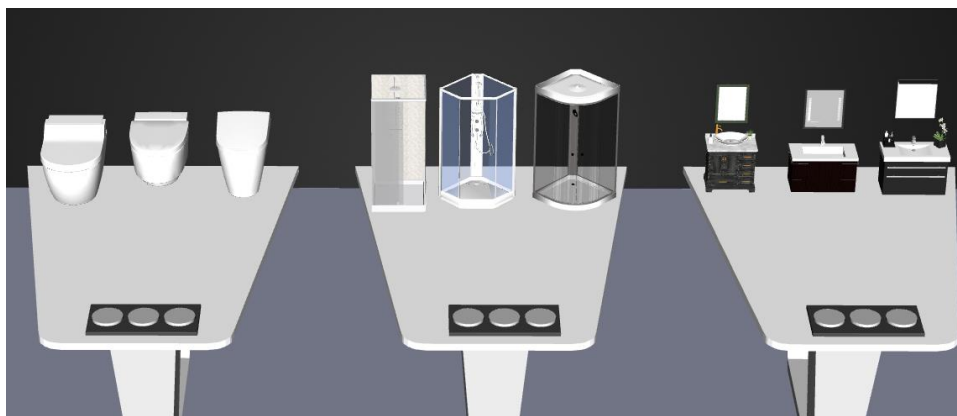
Slika 40. Sučelje za odabir materijala pločica

Veza za interakcije postignuta je unutar *Training Buildera*. Povezuju se funkcija *Node Triggered* i *Apply SceneState*. Za funkciju *Node Triggered* odabire se gumb u hijerarhijskom stablu i pritiskom na spajalicu ubacuje se unutar funkcije, dok se za funkciju *Apply SceneState* odabere iz izbornika *Scene States* scenu pločica koja se prikazuje pritiskom na gumb.



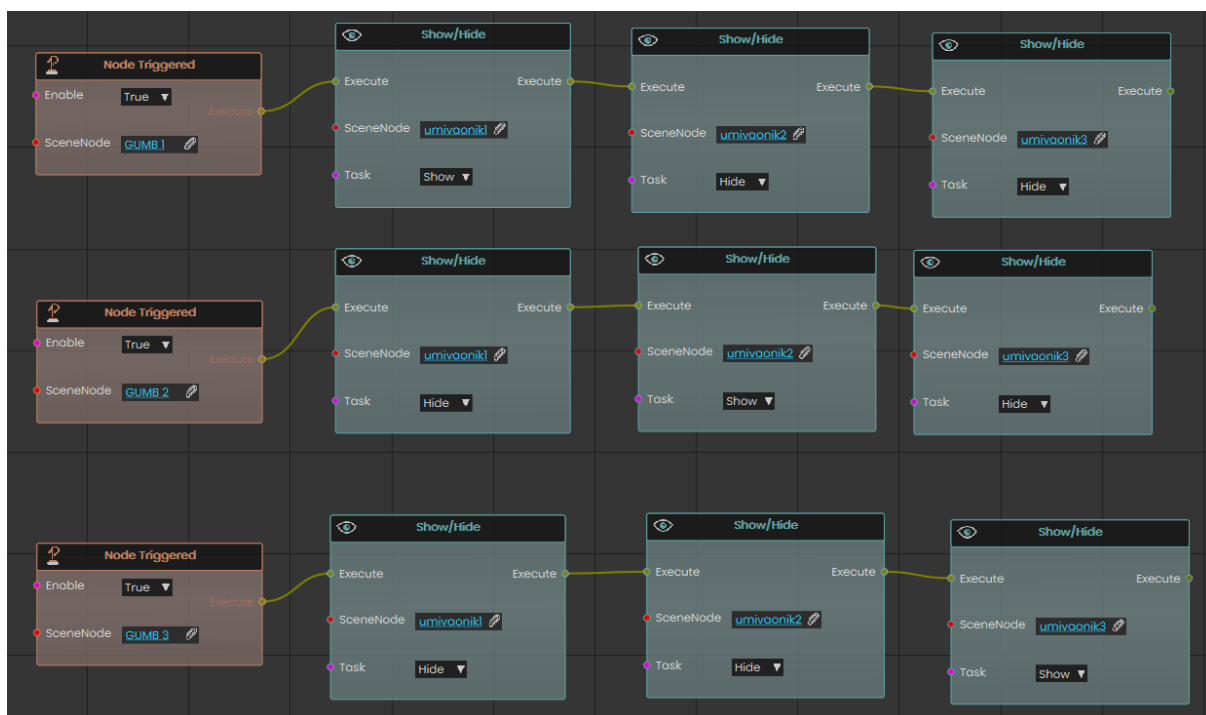
Slika 41. Postavljanje veza za promjenu boje pločica

Zatim se kreiraju veze za promjenu modela WC školjke, tuša i umivaonika. Sve veze se postižu na identičan način, ovdje je prikazan primjer promjene modela umivaonika.



Slika 42. Prikaz sučelja za odabir različitih modela elemenata kupaonice

Koristimo funkcije *Node Triggered* za mogućnost pritiska gumba unutar virtualne stvarnosti, jednako kao kod pločica i zida, i funkciju *Show/Hide* koja sakriva, odnosno prikazuje objekte u virtualnoj stvarnosti. Funkcije su povezane na način da pritiskom gumba jedan model od ukupno 3 se prikazuje, dok su ostala 2 sakrivena, npr. pritiskom Gumba 1 prikazuje se 1. model umivaonika, dok su 2. i 3. model sakriveni.



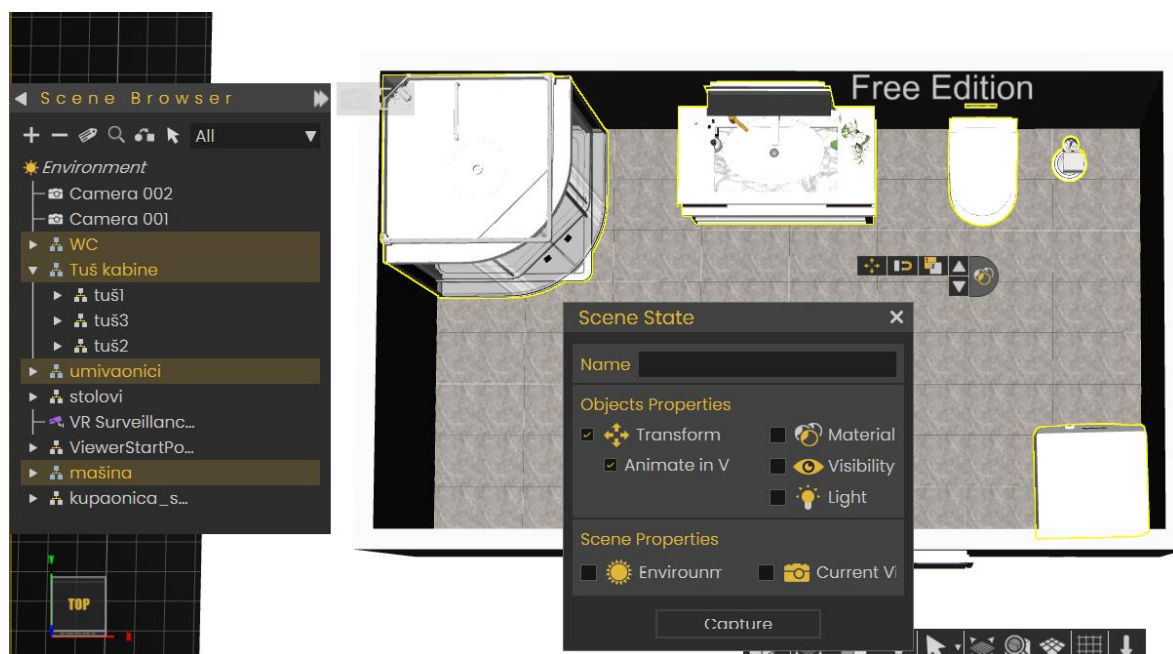
Slika 43. Postavljanje veza za prikazivanje i sakrivanje modela

Postoji mogućnost premještanja komponenata unutar virtualne stvarnosti, ali ona ne nudi opcije pri kojoj bi komponente premještale po putanjama ili naprimjer uz zid. Zbog toga se pohranjuju unaprijed predviđeni rasporedi elemenata po kupaonici koji se prikazuju pritiskom gumba unutar virtualne stvarnosti. Isto tako ne postoji opcija poput *Replace Componente* za zamjenu elemenata i zbog toga se moraju prikazivati i sakrivati, a kako bi se npr. svi tuševi nalazili na istoj poziciji u virtualnoj stvarnosti potrebno je u 3D prostoru postaviti ih jednog preko drugog.



Slika 44. Prikaz postavljanja tuševa u 3D prostoru

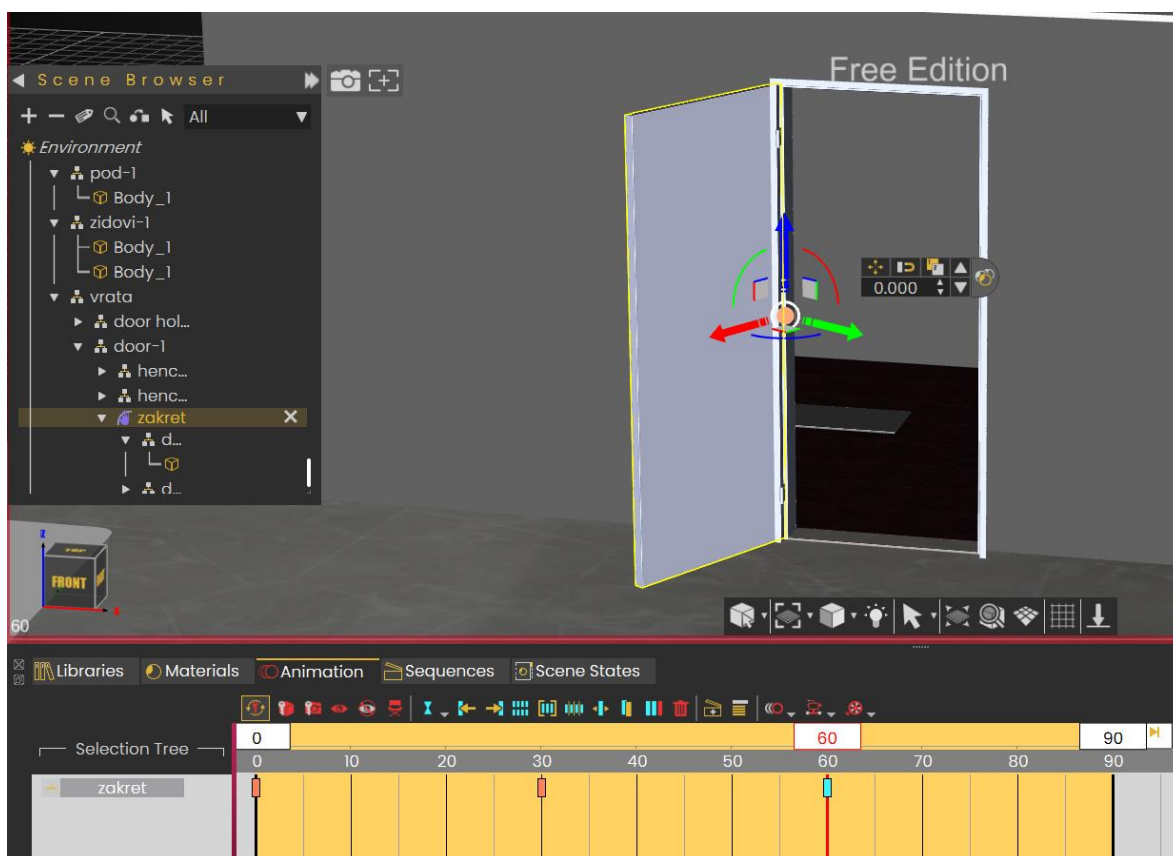
Za pohranjivanje scena rasporeda elemenata po kupaonici koristi se funkcija *Capture SceneState* tako da se u hijerarhijskom stablu označe svi elementi koji se pomiču, što su ovdje svi modeli tuševa, WC-a i umivaonika, te 1 model perilice rublja. Odabire se opcija *Trasnform* jer se pohranjuju položaji elemenata.



Slika 45. Pohranjivanje scena rasporeda kupaonice

Nakon toga povezuju se pohranjene scene s gumbima na identičan način kao i kod promjene boje pločica.

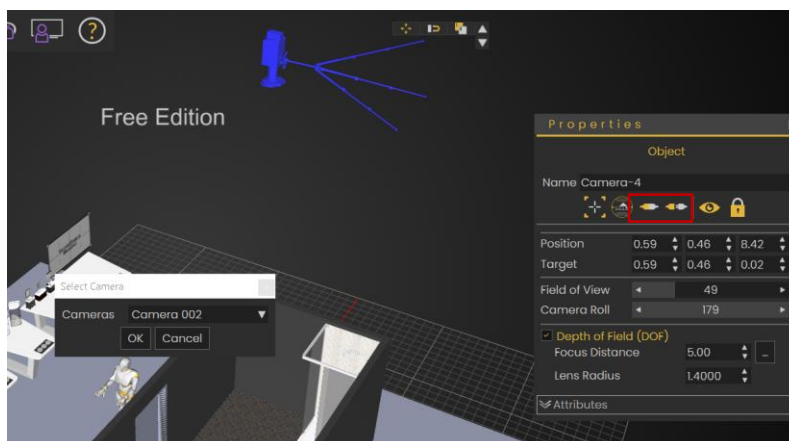
Kako bi korisnik mogao ući u prostoriju kreirana je veza za interaktivnost vrata. Prvo se pomiče točka za pozicioniranje vrata na mjesto oko kojega vrata rotiraju pomoću funkcije *Move Pivot*. Zatim se unutar izbornika *Animation* kreira animacija na način tako da se prvo odabere objekt u hijerarhijskom stablu što su u ovom slučaju vrata. Zatim povlačimo crveni pokazivač na određenu vrijednost FPS koja pamti položaj objekta u 3D prostoru. Pomičemo crveni pokazivač na 30 FPS i vrata u 3D prostoru za polovicu kretnje do krajnjeg položaja i zatim crveni pokazivač postavljamo na 60 FPS i vrata zarotiramo do krajnjeg položaja. Animacija se pohranjuje tako da označimo pravokutnike na FPS traci i odaberemo *Create Animation Sequence*. Pohranjena animacija nalazi se u izborniku *Sequences*.



Slika 46. Kreiranje animacije vrata

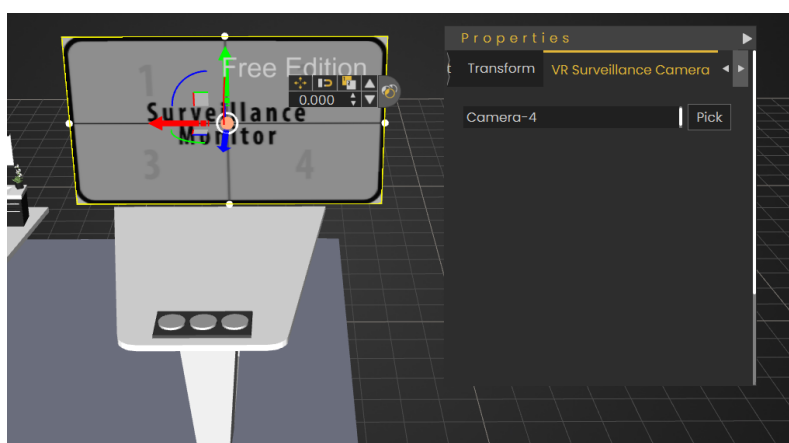
Za povezivanje animacije s vratima koristi se funkcija *Make Grabbable Sequence* koja se nalazi pod izbornikom *Interactions*. Odabiru se vrata kao objekt za koji se kreira sekvenca i kreirana animaciju prema čijoj se putanji vrata pomiču unutar virtualne stvarnosti.

Kako bi korisnik u svakom trenutku vidio raspored elemenata po kupaonici koriste se opcije *Create VR Camera* i *Create Surveillance Plane*. Prvo se kreira kamera s funkcijom *Create VR Camera* i zatim se pozicionira prema prostoru koji se snima. Opcija koja olakšava samo pozicioniranje je *Connect Camera* s kojom se zauzima pogled kamere i samostalno namještava. Za izlaz iz pogleda kamere odabire se opcija *Disconnect View Camera*.



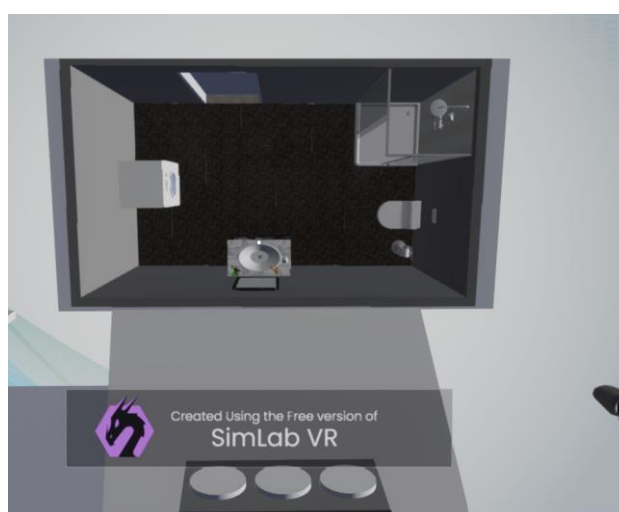
Slika 47. Podešavanje kuta kamere

Zatim je kreirana ravnina na kojoj se projicira video sa kamere s funkcijom *Create Surveillance Plane*, te se ravnina i kamera povezuju.



Slika 48. Povezivanje ravnine za projiciranje s kamerom

Postavljanjem veza omogućen je prikaz kadra koji snima kamera na ravnini projiciranja.



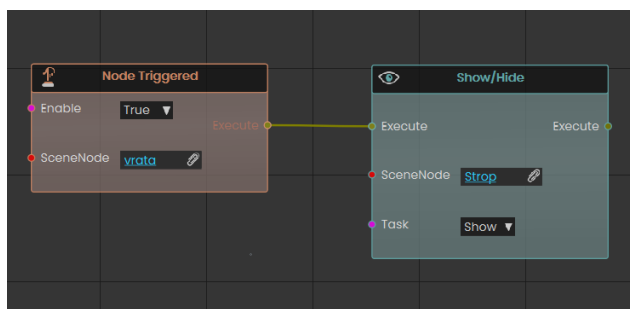
Slika 49. Prikazivanje snimke unutar virtualne stvarnosti

Budući da strop zaklanja pogled kamere na kupaonicu potrebno ga je sakriti u određenim trenucima. Pri ulasku u virtualnu stvarnost s funkcijama *Scene Start* i *Show/Hide* sakriven je

strop, pomoću funkcije *Scene Start* određuju se događaji pri ulasku u virtualnu stvarnost. Kada korisnik uhvati vrata strop će se prikazati, a to se postiže s funkcijama *Node Triggered* i *Show/Hide*.



Slika 50. Početna veza stropa



Slika 51. Veza za prikazivanje stropa



Slika 52. Prikaz kupaoalice 1 unutar virtualne stvarnosti

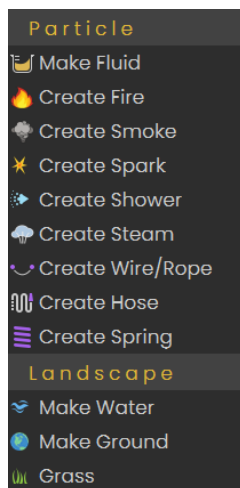


Slika 53. Prikaz kupaoalice 2 unutar virtualne stvarnosti

Primjer prikazuje stupanj interaktivnosti koji se može postići pri dizajniranju. Dozvoljavajući korisnicima da sami dizajniraju realno vlastito okruženje unutar virtualne stvarnosti postiže se smanjenje troškova i vremena potrebno za izradu.

4.2 Pregled efekata

SimLab VR Studio omogućuje izradu realističnih efekata kako bi se dobio dojam stvarnosti virtualnog okruženja. Pod padajućim izbornikom *VR Effects/Media* nalaze se efekti koji su opisani.



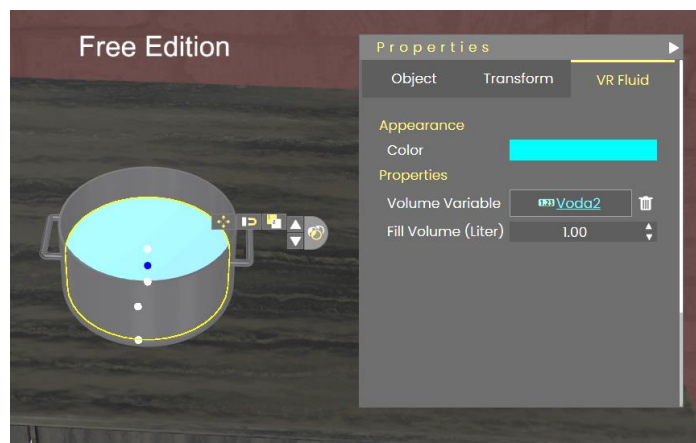
Slika 54. Efekti *SimLab VR Studio*

Prvi prikazan je *Make Fluid* efekt koji omogućuje stvaranje tekućina. Efekt je prikazan na primjeru dvije posude sa tekućinom, gdje se tekućina prelijeva iz jedne u drugu.



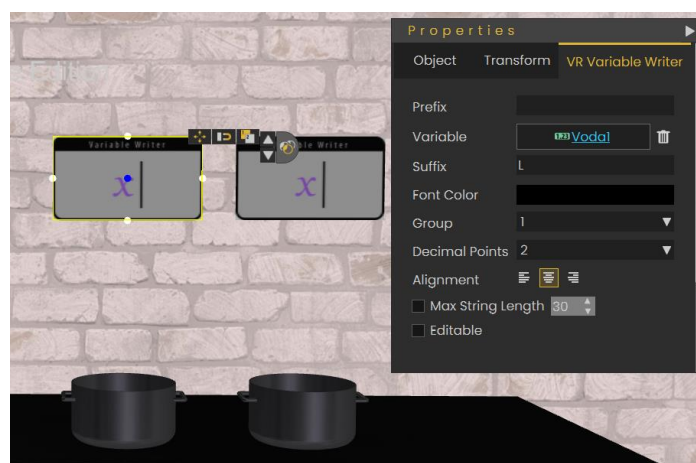
Slika 55. Početni položaj modela *Make Fluid* efekta

Za izradu samog efekta potrebno je označiti neki objekt ili kreirati odgovarajući oblik unutar *VR Studioa*. Odabire se funkcija *Create* i zatim opcija *Shape* koja nudi izradu ravnine, kocke, sfere ili cilindra. U ovom primjeru kreirana su 2 cilindra unutar posuda, koji su definirani kao tekućine. Može se mijenjati boja tekućine i odrediti količinu tekućine unutar objekta (*Fill Volume*). Također, ovaj efekt omogućuje i simulaciju prelijevanja tekućine, što je na ovome primjeru prikazano kao ulijevanje tekućine iz jedne posude u druge. Pomoću opcije *Volume Variable* može se pratiti količina tekućine unutar posude, te se na ovome primjeru vidi da ulijevanjem tekućine iz jedne posude u drugu, količina tekućine u jednoj posudi se smanjuje, a u drugoj se povećava (Slika 41.). Unutar opcije *Volume Variable* potrebno je odabrati varijablu koja prati količinu tekućine.



Slika 56. Povezivanje varijable efekta *Make Fluid*

Kreira se nova varijablu i odabire opcija *Number* budući da je u ovom slučaju potrebna brojčana varijabla. Za praćenje količine tekućina unutar posuda unutar VR-a potrebno je postaviti *Variable Writtere*, koji su zapravo mali ekrani na kojima su prikazane količine tekućine unutar posude. Oni se nalaze pod *VR/Media Effects*, opcija *Create Variable Writter*. *Variable Writteri* se postavljaju na predviđeno mjesto i povezuju s varijablom.

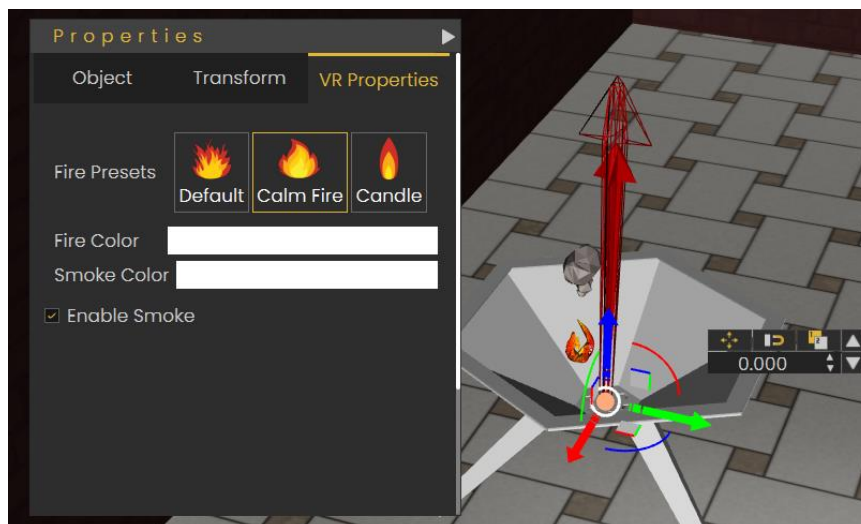


Slika 57. Postavljanje *Variable Writtera*



Slika 58. Ulijevanje i promjena količine tekućine

Efekt *Create Fire* omogućuje prikazivanje vatre unutar virtualne stvarnosti. Nakon odabira opcije unutar 3D prostora pojavljuje se usmjerivač koji je potrebno postaviti na željeno mjesto unutar prostora gdje se simulira opcija vatre unutar virtualne stvarnosti. Pomoću usmjerivača određuje se smjer plamena. Usmjerivač se pozicionira pomoću sustava za pozicioniranje.



Slika 59. Prikaz usmjerivača u 3D prostoru i opcija funkcije *Create Fire*

Pomoću usmjerivača određuje se smjer plamena. Isto tako smanjenjem, odnosno povećanjem usmjerivača određuje se veličinu vatre. Pritiskom na usmjerivač prikazuju se opcije kao što su prikaz vatre, gdje se može odabrati naprimjer mirna vatra ili vatra za svijeću. Također se mogu mijenjati boju vatre i omogućiti kreiranje dima uz vatru i mijenjati boju dima.

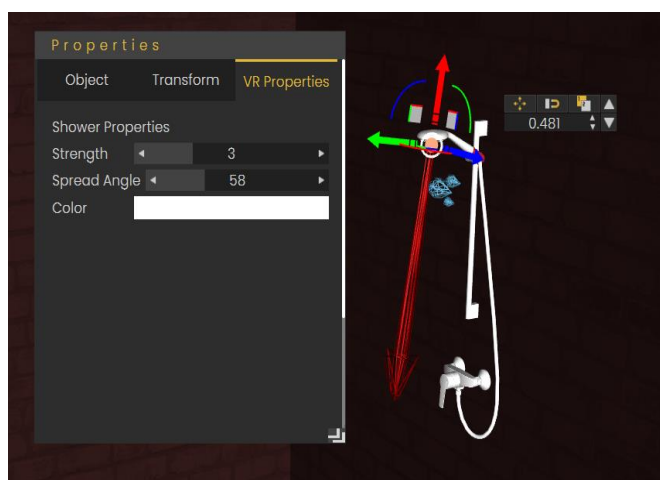
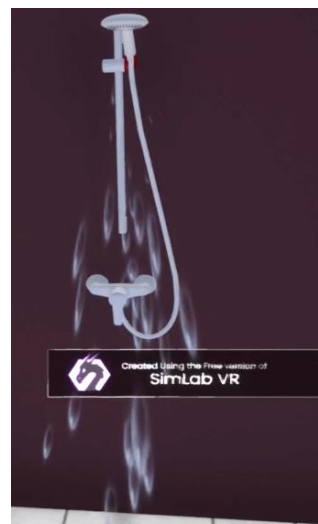


Slika 60. Vatra ložišta

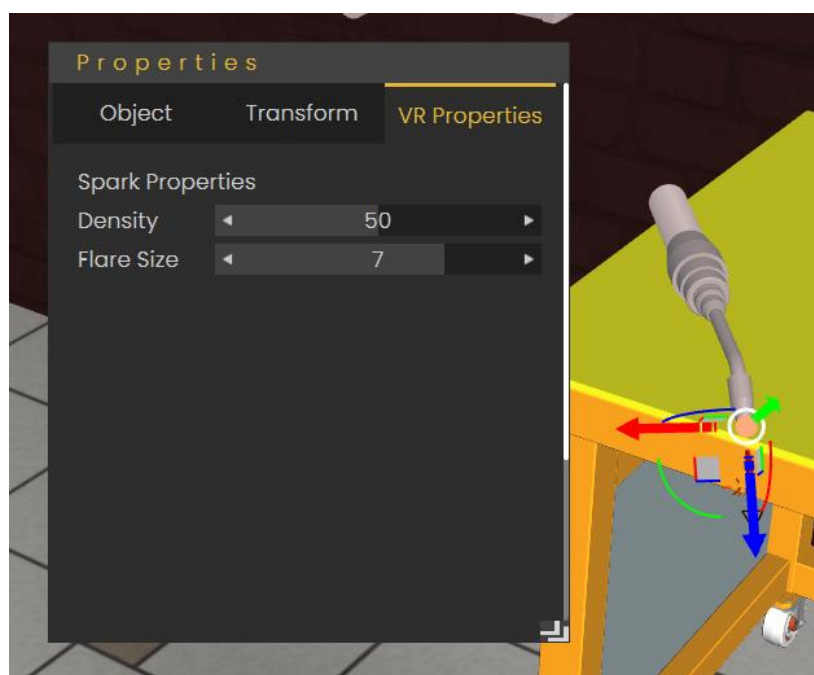


Slika 61. Plamen svijeće

Efekt *Create Shower* omogućuje kreiranje realnog mlaza vode unutar virtualne stvarnosti. Efekt je prikazan na primjeru tuša, gdje je usmjerivač postavljen na mjesto gdje mlaz počinje. Bitno je napomenuti da na mlaz vode djeluje sila gravitacije i da se kapi mlaza odbijaju od površina. Opcije koje se mogu korigirati su boja, jačina i raspršenost mlaza da bi se postigao realan mlaz s obzirom na situaciju u kojoj ga koristimo.

Slika 62. Opcije efekta *Create Shower*Slika 63. *Create Shower* efekt u VR-u

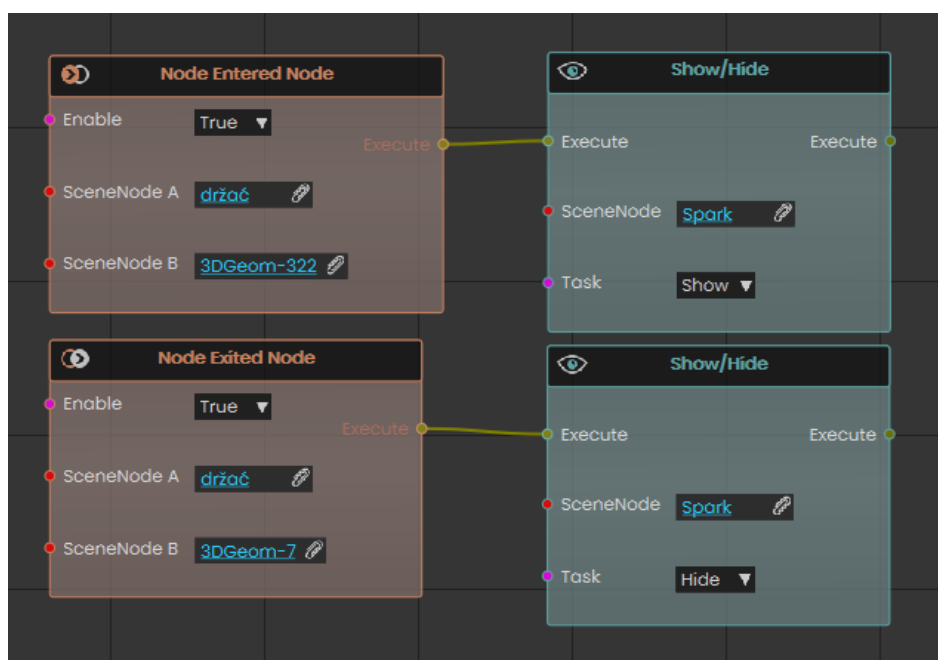
Efekt *Create spark* omogućuje kreiranje iskre unutar virtualne stvarnosti. Iskra može poslužiti kao efekt kratkog spoja ili efekt zavarivanja, kako je prikazano i u ovome primjeru. Iskra se kreira pomoću navedene opcije i postavlja na vrh pištolja za zavarivanje, te se zatim urede postavke kao što su veličina iskre i gustoća iskre kako bi dobili željeni efekt.

Slika 64. Opcija i pozicije efekta *Create Spark*

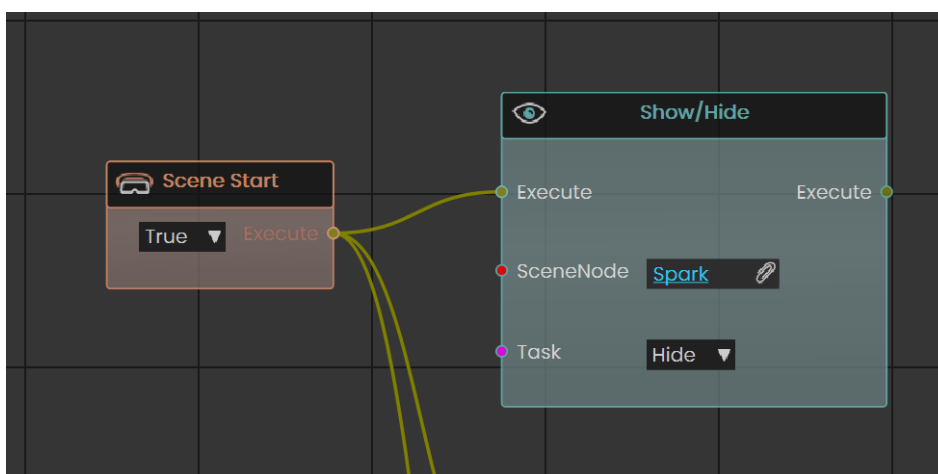
Na ovome primjeru također je prikazan efekt *Create Hose* pomoću kojeg je izrađeno crijevo koje spaja pištolj za zavarivanje i kućište, taj efekt je detaljno objašnjen na primjeru gašenja vatre. Potrebno je postaviti vezu između pištolja za zavarivanje i objekta kojega zavarujemo kako bi se efekt iskre uključio samo kada se simulira zavarivanje. Vezu se stvara unutar *Training Buildera*, gdje se odabire opcija *Node Entered Node* koja govori da ukoliko dođe do

međusobnog kontakta dvaju objekata dolazi do izvršenja neke naredbe. Postavlja se veza da ukoliko pištolj za zavarivanje dođe u kontakt sa objektom koji se zavaruje, tada se izvršava prikazivanje efekta iskre pomoću opcije *Show/Hide*.

Na identičan način se izradi veza da se sa prestankom zavarivanja ugasi efekt iskre. Veza se kreira pomoću *opcije Node Exited Node* koja govori da ukoliko objekti izađu iz međusobnog kontakta, dolazi do izvršavanja nekog događaja. U ovom slučaju ako pištolj za zavarivanje izađe iz kontakta sa objektom zavarivanja, dolazi do gašenja efekta iskre pomoću funkcije *Show/Hide*. S obzirom da efekt iskre ne smije biti vidljiv prije početka zavarivanja, koristi se događaj *Scene Start* koji se poveže sa odgovorom *Show/Hide*. Događaj *Scene start* se koristi za događaje koje želimo kreirati kada tek uđemo u virtualnu stvarnost



Slika 65. Kreiranje veze za efekt iskre



Slika 66. Veza za početno skrivanje iskre



Slika 67. Efekt iskre na primjeru zavarivanja unutar virtualne stvarnosti

Efekt *Make Water* služi za kreiranje vode unutar virtualne stvarnosti, koji je napravljen na primjeru vrtnog ukrasa koji je ispunjen vodom. Efekt *Make Water* kreira se na identičan način kao i *Make Fluid* efekt. U predviđeni prostor za vodu kreirana su dva cilindra koja se označavaju kao objekti koji će simulirati vodu u virtualnoj stvarnosti. Pomoću ovog efekta nije moguće ulijevati vodu ili prikazati količinu vodu, no on nudi dodatne opcije za poboljšano uređivanje tekućine, odnosno vode. Može se odabrati između mirne vode i vode koja simulira vodu u otvorenome moru, te uređivati boja vode, veličina i brzinu valova.

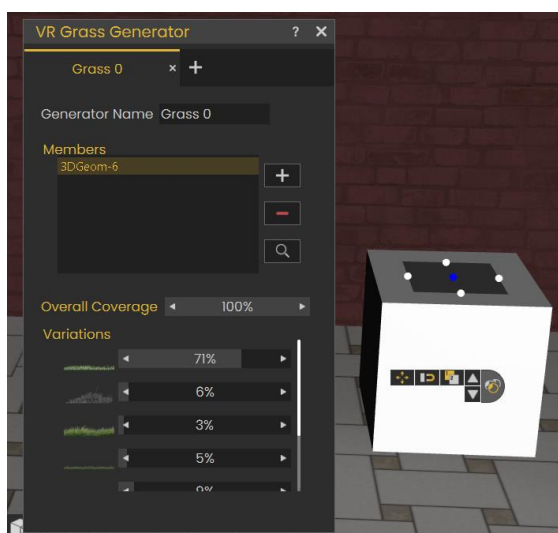


Slika 68. Postavljanje i opcije efekta *Make Water*



Slika 69. Prikaz efekta *Make Water* u virtualnoj stvarnosti

Efekt *Grass* koristi se za kreiranje travnate površine unutar virtualne stvarnosti. Za njegovu kreaciju najbolje je postaviti ravninu na kojoj se kreira trava. Zatim je potrebno otvoriti efekt *Grass* i pod *Members* označiti objekte koji simuliraju travu. Ispod se još nalaze opcije odabira raznih vrsta trava.

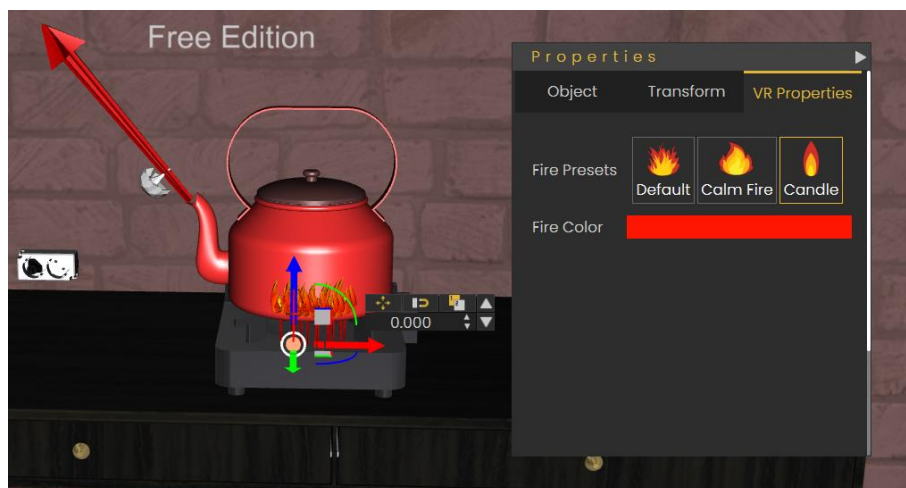


Slika 70. Izbornik efekta *Grass*



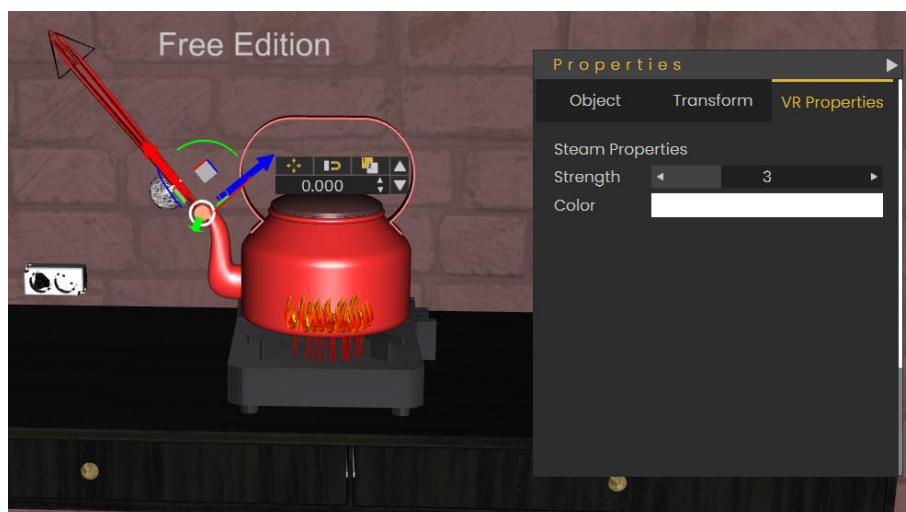
Slika 71. Efekt *Grass* u virtualnoj stvarnosti

U ovom primjeru korišteno je više efekata zajedno, a to su *Create Fire*, *Create Steam* i *Create Wire/Rope* kako bi se prikazao realan proces zagrijavanja čajnika na štednjaku unutar virtualne stvarnosti. Primjer je odličan pokazatelj da se spajanjem različitih efekata unutar virtualne stvarnosti mogu postići vrlo realni prikazi stvarnih radnji. Za simulaciju rada štednjaka koristi se efekt *Create Fire* u obliku svijeće koji predstavlja plamen štednjaka. Pozicionira se pomoću usmjerivača i pomoću opcije *Copy*, koja se nalazi desno od opcije *Snap To Object*, se kopira i postavlja u krug oko plamenika.



Slika 72. Prikaz pozicije i opcija funkcije *Create Fire* kod štednjaka

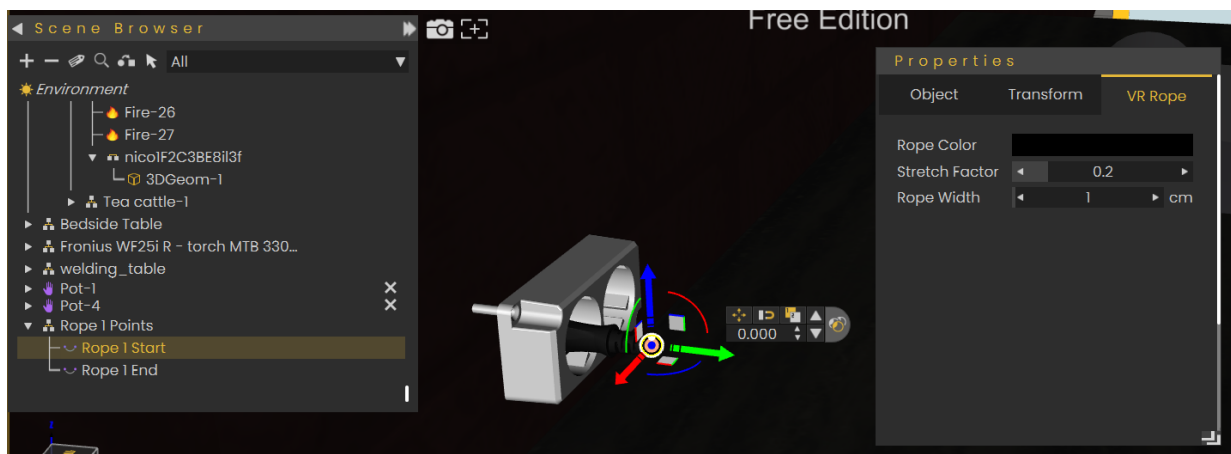
Zatim pomoću efekta *Create Steam* kreira se efekt izlaska pare iz čajnika, koji se pozicionira na izlazu iz čajnika. Također, može se mijenjati boja pare i jačinu izlaska pare.



Slika 73. Prikaz pozicije i opcija funkcije *Create Steam* kod štednjaka

Za stvaranje kabla koji povezuje utičnicu i štednjak koristi se efekt *Create Wire/Rope*. Odabirom efekta u hijerarhijskom stablu prikazuje se objekt *Rope* unutar kojega se nalaze *Rope Start* i *Rope End*. Prvo se odabire *Rope start* i pozicionira se na mjesto početka kabla, te se

zatim odabire *Rope End* koji se pozicionira na mjestu završetka kabla. Pritiskom na bilo koju od točaka otvara se izbornik u kojem se može mijenjati boja i promjer kabla, te sama rastezljivost kabla, tj. kada je opcija *Stretch* jednaka 0, kabel unutar virtualne stvarnosti biti će zategnut, dok se povećavanjem faktora dobiva duži i opušteniji kabel koji spaja točke početka i kraja.



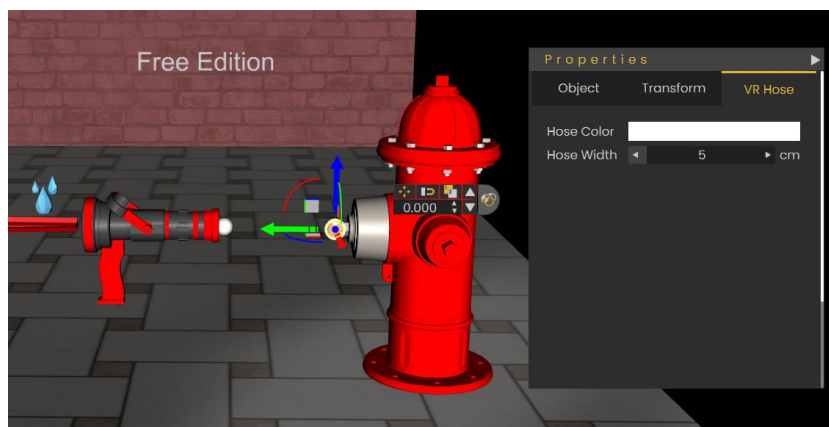
Slika 74. Prikaz korištenja efekta *Create Wire/Rope*



Slika 75. Zagrijavanje čajnika unutar virtualne stvarnosti

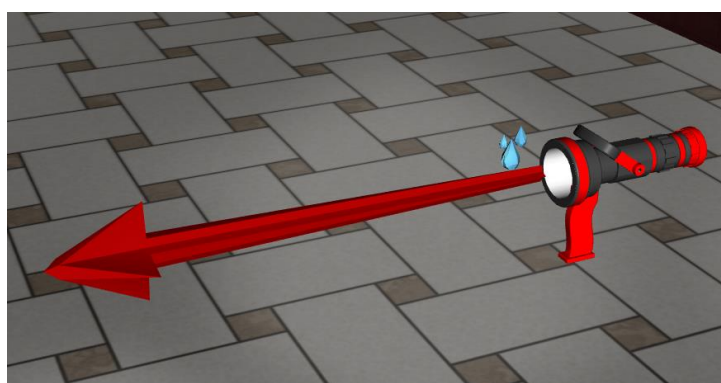
Posljednji primjer je vizualizacija gašenja vatre s vatrogasnim crijevom. Korištenjem efekata *Create Fire*, *Create Smoke*, *Create Shower* i *Create Hose* kao cjelinu dobiva se realna vizualizacija gašenja vatre, te se može primjeriti da se neki efekti poput *Create Shower* ne moraju striktno koristiti za kreiranje vode pri tuširanju, već se može iskoristiti u druge svrhe kao u ovome primjeru gdje se koristi za mlaz vode kojim se gasi vatra. Primjer je dobar pokazatelj mogućnosti korištenja *VR Studia* kao alata za kreiranje virtualne obuke na kojoj radnici mogu steći iskustvo prije nego što se suočavaju sa sličnim situacijama u stvarnome životu.

Prvo se pomoću efekta *Create Hose* spajaju hidrant i vatrogasno crijevo. Nakon odabira efekta u hijerarhijskom stablu pojavi se objekt pod imenom *Hose Points*. U njemu se nalaze točke *Hose Start* i *Hose End* koje su zapravo male kugle s kojima definira početak i kraj crijeva. Najprije se pozicionira *Hose Start*, te zatim *Hose End* unutar 3D prostora. S obzirom na to da u virtualnoj realnosti korisnik premješta vatrogasni šmrk, *Hose End* se mora premještati zajedno s vatrogasnim šmrkom. Pomoću funkcije *Change Parent* prebacuje se *Hose End* unutra podsklopa vatrogasnog šmrka što osigurava kretanje vatrogasnog crijeva sa šmrkom.



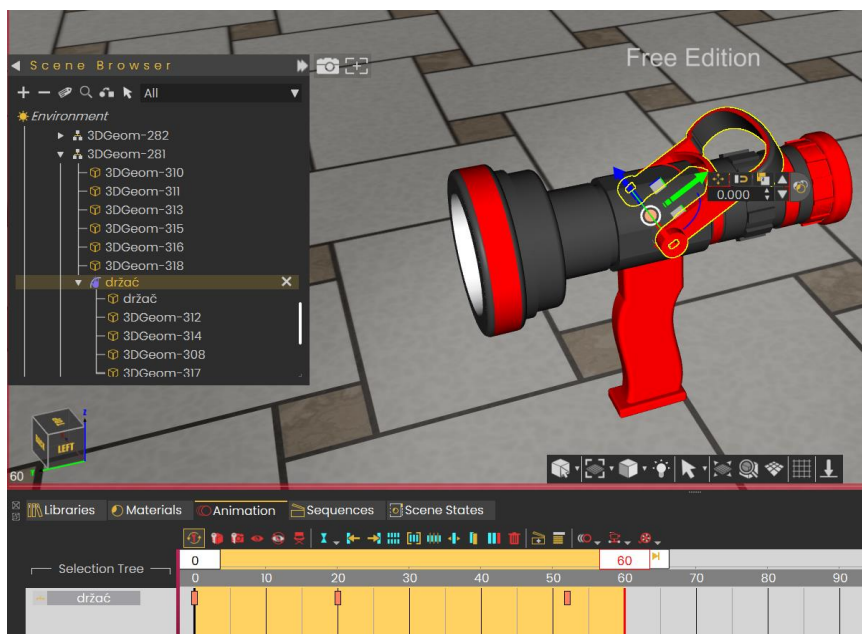
Slika 76. Povezivanje šmrka i hidranta s crijevom

Na vrh vatrogasnog šmrka postavlja se efekt *Create Shower* kako bi se izradila vizualizacija izlaska mlaza vode iz šmrka. Mlaz vode je isto potrebno prebaciti u hijerarhijskom stablu u podsklop šmrka, kako bi se zajedno kretali prilikom interakcije korisnika.



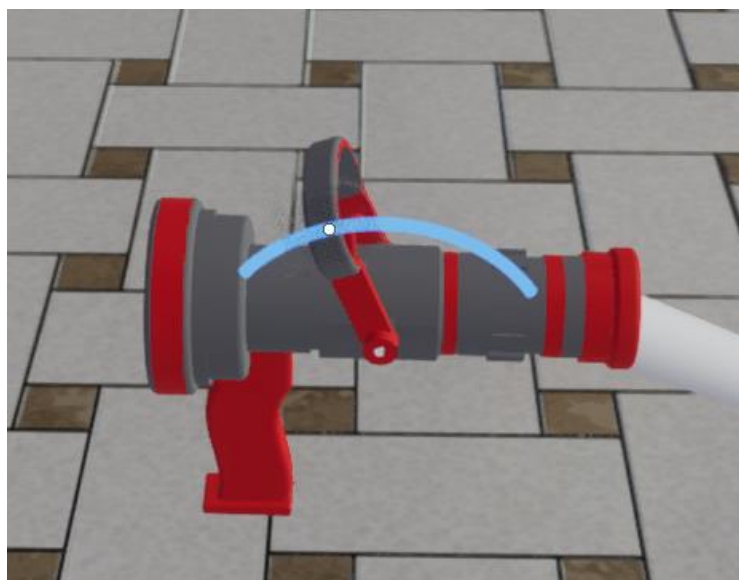
Slika 77. Postavljanje efekta *Create Shower*

Za upravljanje mlazom vode potrebno je kreirati animaciju otvaranja i zatvaranja ventila. Prvo je potrebno pomaknuti koordinatni sustav ručke na poziciju oko koje se ona rotira pomoću funkcije *Move Pivot*. Zatim se kreira animacija otvaranja i zatvaranja ventila. Animacija se pohranjuje na način da se označe pravokutnici na FPS traci i da se odabere funkcija *Create Animation Sequence*. Nakon što je pohranjena, animaciju je moguće pronaći u izborniku *Sequences*.



Slika 78. Izrada animacije za zakretanje ručke

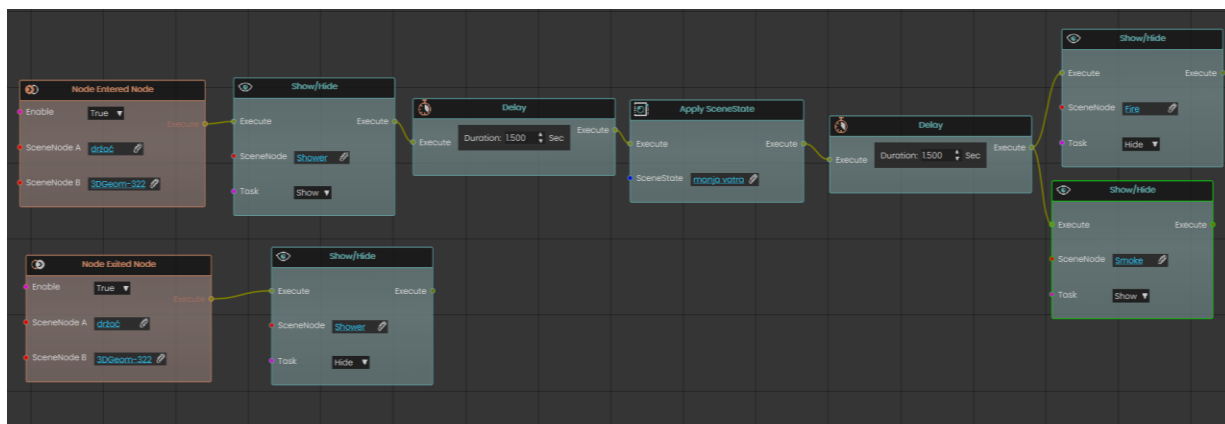
Kreiranu animaciju potrebno je povezati s objektom kako bi se omogućilo zakretanje u virtualnoj stvarnosti. Povezuju se pomoću funkcije *Make Grabbable Sequence* koja se nalazi pod izbornikom *Interactions*. Odabire se ručka kao objekt za koji se kreira sekvenca i kreiranu animaciju prema čijoj se putanji ručka kreće unutar virtualne stvarnosti.



Slika 79. Rotacija ručke u virtualnoj stvarnosti

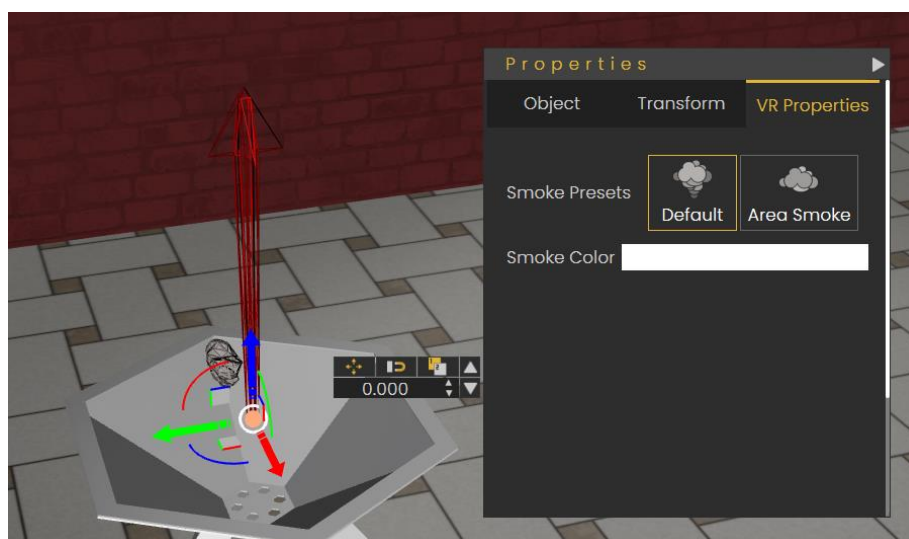
Potrebno je unutar *Training Buildera* izraditi veze između efekata i animacija. Koristi se funkcija *Node Entered Node* koja se poveže tako da u trenutku kada ručka stupi u kontakt s šmrkom, odnosno dođe u krajnji položaj, dolazi do odgovora funkcije *Show/Hide* koja prikazuje efekt *Create Shower*, odnosno mlaz vode. Kako bi se mlaz zaustavio koristi se funkcija *Node*

Exited Node s kojom se opisuje izlazak ručke iz šmrka, odnosno pomicanje ručke iz krajnjeg položaja. Povezuje se sa odgovorom *Show/Hide* koja sakriva mlaz vode.



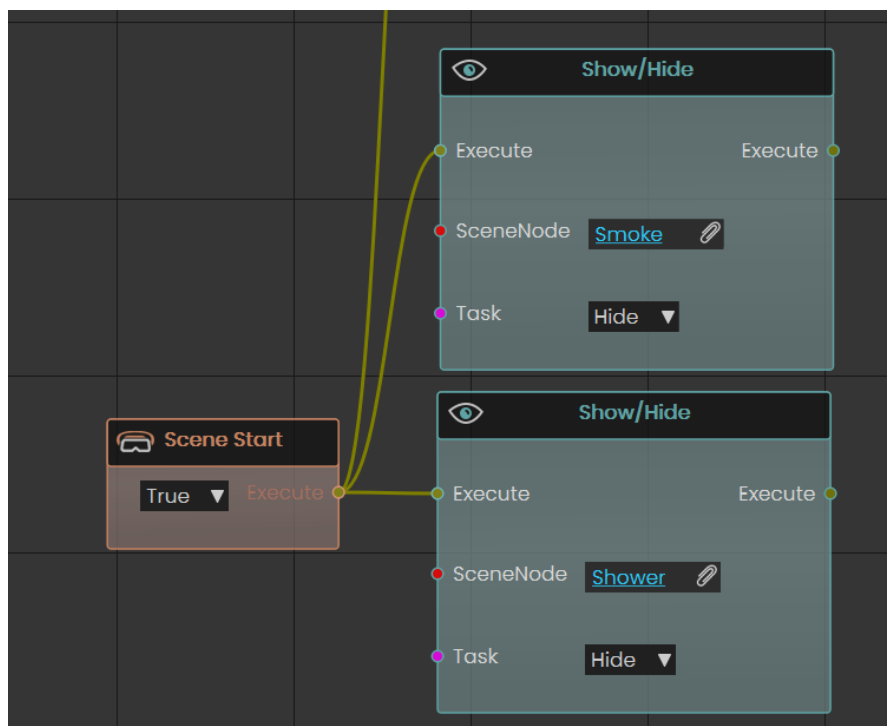
Slika 80. Postavljanje veza za primjer gašenja vatre

Za vatru je iskorišteno ložište iz primjera iznad. Za vizualizaciju gašenja požara potrebno je još povezati mlaz vode i vatru, ali budući da u *VR Studiu* nije moguće povezati efekte pomoću funkcije *Node Entered Node* kako bi započelo gašenje vatre, ovdje je iskorištena funkcija *Delay* koja je povezana tako da čim korisnik otvori mlaz vode kreće vizualizacija. Za postizanje realne vizualizacije koristi se funkcija *Capture Scene State*, te je pomoću nje pohranjena vizualizacija manje vatre od stvarne i uz pomoć funkcije *Delay* kreirano je postepeno smanjenje vatre. Za kraj kako bi se vatra ugasila funkcija je povezana sa odgovorom *Show/Hide* koji sakriva vatru i odgovorom koji na kraju prikazuje dim koji je kreiran s funkcijom *Create* (Slika 63).



Slika 81. Postavljanje efekta *Create Smoke*

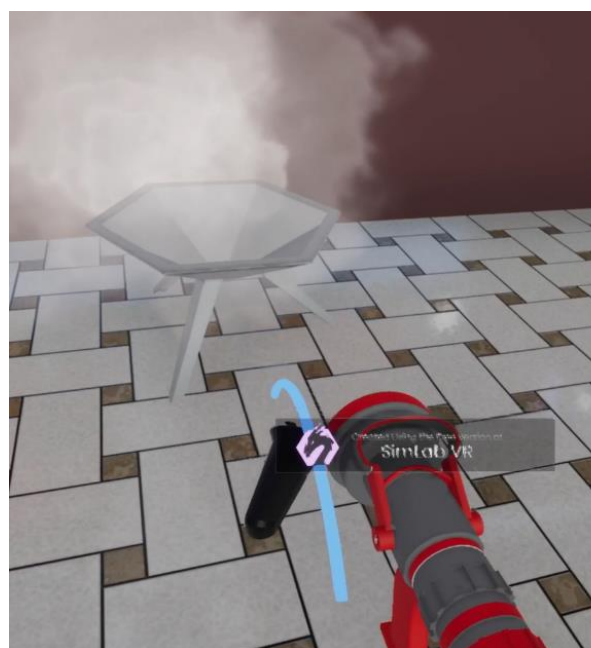
Pomoću funkcije *Scene Start*, koja služi za definiranje događaja u trenutku kada uđemo u virtualnu stvarnost, i funkcije *Show/Hide* sakriveni su efekti dima i mlaza vode jer se oni trebaju prikazati samo u zadanim trenucima unutar virtualne stvarnosti.



Slika 82. Postavljanje početnih događaja



Slika 83. Početak gašenja vatre



Slika 84. Početak gašenja vatre

Na prikazanim primjera vidljivo je da *VR Studio* nudi širok spektar efekata za vizualizaciju stvarnog ponašanja događaja poput vatre, vode, iskre itd. Pravilnim spajanjem efekata i veza između njih mogu se postići realne simulacije koje bi se mogle primijeniti u raznim poljima, poput obuke radnika ili demonstracije proizvoda.

4.3 Rastavljanje proizvoda

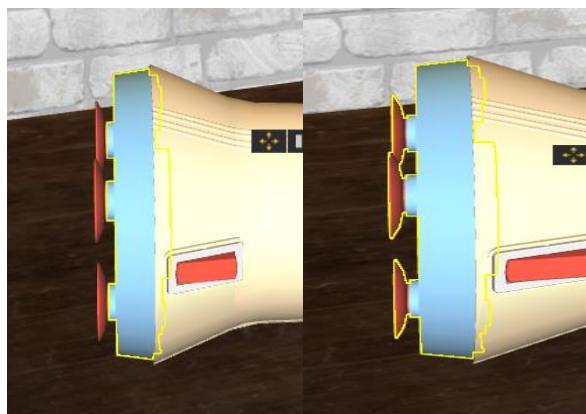
Na modelu miksera prikazane su mogućnosti rastavljanja, odnosno sastavljanja modela proizvoda. Mikser je složen uređaj koji se sastoji od više dijelova, a proces rastavljanja omogućava detaljno prikazivanje svakog dijela i razumijevanje njegovih funkcionalnosti unutar cijelog sustava. Kako bi omogućili sastavljanje proizvoda u *SimLab VR Studio*, potrebno je kreirati odgovarajuće veze između dijelova unutar *Training Buildera*.

Za početak potrebno je ubaciti sve potrebne modele, a to su model miksera i gumb, dok se prostorija i kliješta mogu direktno ubaciti pomoću alata *SimLab Library*. Zatim se mikser, kliješta i gumb postavljaju na odgovarajuća mjesta unutar prostorije.



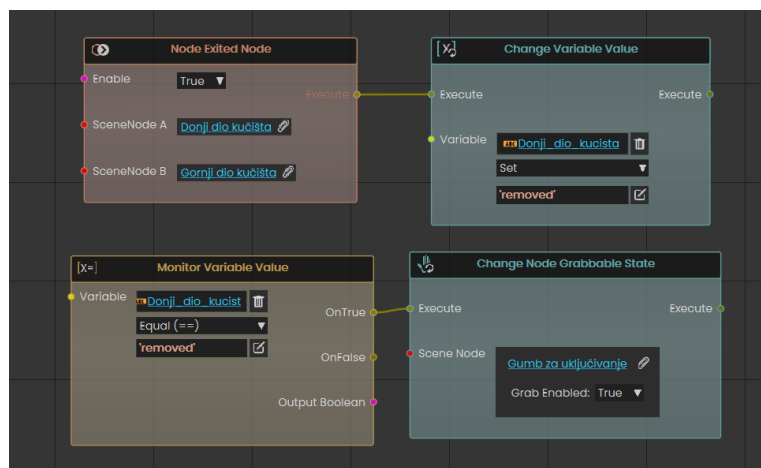
Slika 85. Prikaz prostorije sa modelom miksera

Potrebno je stvoriti veze za rastavljanje modela miksera unutar *Training Buildera*, no prije toga komponente moraju biti pravilno grupirane u hijerarhijskom stablu. Grupiranje omogućava jednostavnije upravljanje dijelovima modela, te omogućava precizno definiranje veza i koraka u procesu rastavljanja. Primjer grupiranja komponenata prikazan je na donjem dijelu kućišta miksera, gdje se određene komponente koje pripadaju donjem dijelu kućišta nalaze grupirane sa dijelovima drugih podsklopova ili su zadani kao zasebni podsklopovi. Potrebno je u hijerarhijskom stablu odabrati komponente koje se ne nalaze u podsklopu donjeg dijela kućišta, u ovom primjeru gumene noge, i pomoću funkcije *Change Parent* promijeniti podsklop u kojem se komponente nalaze. Za provjeru ispravnosti grupiranja mogu se odabrati podsklop donjeg kućišta u hijerarhijskom stablu, koji je sada cijeli istaknut u 3D prostoru.



Slika 86. Provjera ispravnosti podjele komponenti unutar hijerarhijskog stabla

Nakon što su pravilno grupirane sve komponente u željene podsklopove kreće se sa stvaranjem veza potrebnih za rastavljanje proizvoda. Rastavljanje će biti prikazano na primjeru rastavljanja donjeg dijela kućišta od ostatka miksera. Prvobitno, potrebno je odabrati funkciju *Node Exited Node*, pomoću koje se opisuju događaji gdje komponente izlaze iz međusobnog kontakta. Na zadanome primjeru označava se donji dio kućišta kao komponentu koja izlazi iz kontakta sa gornjim dijelom kućišta. Nakon toga potrebno je u *Edit Variables And Initial Values* kreirati varijablu za donji dio kućišta i upisati njezinu početnu vrijednost, koja je u ovom slučaju „inplace” (Slika 71.). Pomoću funkcije *Change Variable Value* mijenja se status komponente iz „inplace” u „removed”. Zatim pomoću funkcije *Monitor Variable Value* postavlja se uvjet da ukoliko je status donjeg dijela kućišta „removed”, dolazi do promjene stanja gumba za uključivanje u *Grabbable*, odnosno stanje u kojem se gumb za uključivanje može uhvatiti u virtualnoj stvarnosti. Promjena stanja u *Grabbable* postiže se pomoću funkcije *Change Node Grabbable State*. Istim postupkom izrađena je veza da ukoliko gumb za uključivanje izađe iz gornjeg dijela kućišta, sam gornji dio kućišta mijenja stanje u *Grabbable*. Identičan postupak se ponavlja za svaku komponentu.



Slika 87. Postupak izrade veza za rastavljanje miksera

Donji_dio_kucista ABC String ▼ inplace

Slika 88. Varijabla za donji dio kućišta

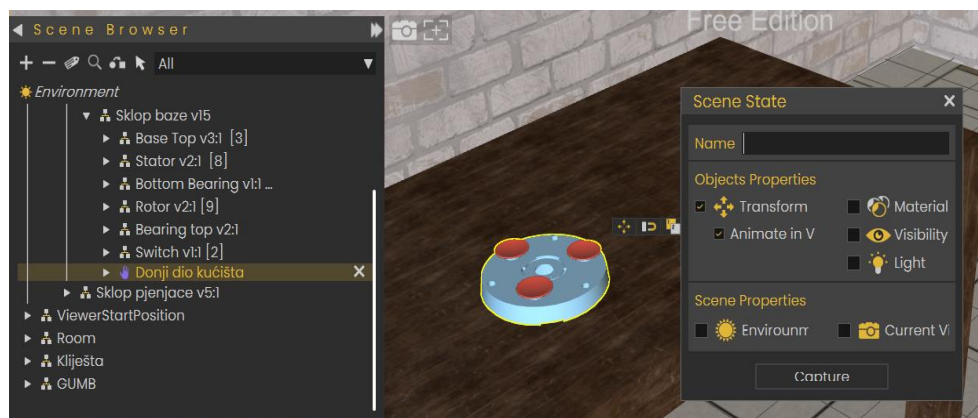


Slika 89. Rastavljanja donjeg dijela kućišta



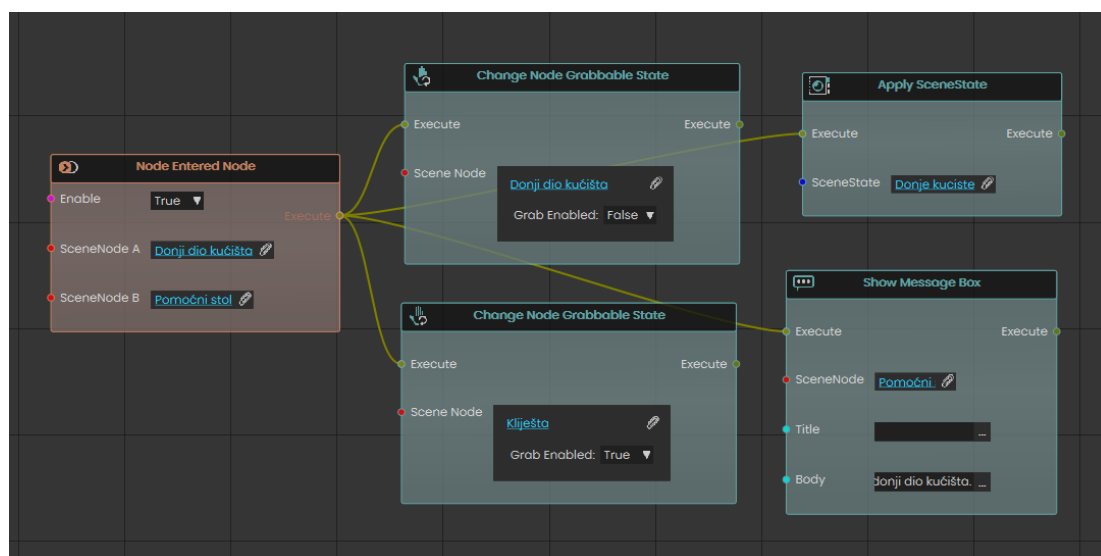
Slika 90. Prikaz rastavljenog miksera

Kako bi se vizualizirala mogućnost interakcije alata i komponenti modela unutra *VR Studia*, prikazano je rastavljanje gumenih nogu donjeg dijela kućišta. Kako bi vizualizirali postavljanje donjeg dijela kućišta na pomoćni stol, potrebno je napraviti scenu pomoću funkcije *Capture SceneState*. Potrebno je u 3D prostoru postaviti donji dio kućišta na pomoćni stol i odabrati *Capture*. Unutar funkcije *Capture* potrebno je označiti *Transform* i donji dio kućišta u hijerarhijskom stablu, što znači da se u ovoj sceni pohranjuje stanje samo donjeg dijela kućišta neovisno o ostalim komponentama i da se pomoću funkcije *Transform* pohranjuje samo položaj donjeg dijela kućišta unutar prostora. Na identičan način pohranjuje se početni položaj svih komponenti unutar 3D prostora.



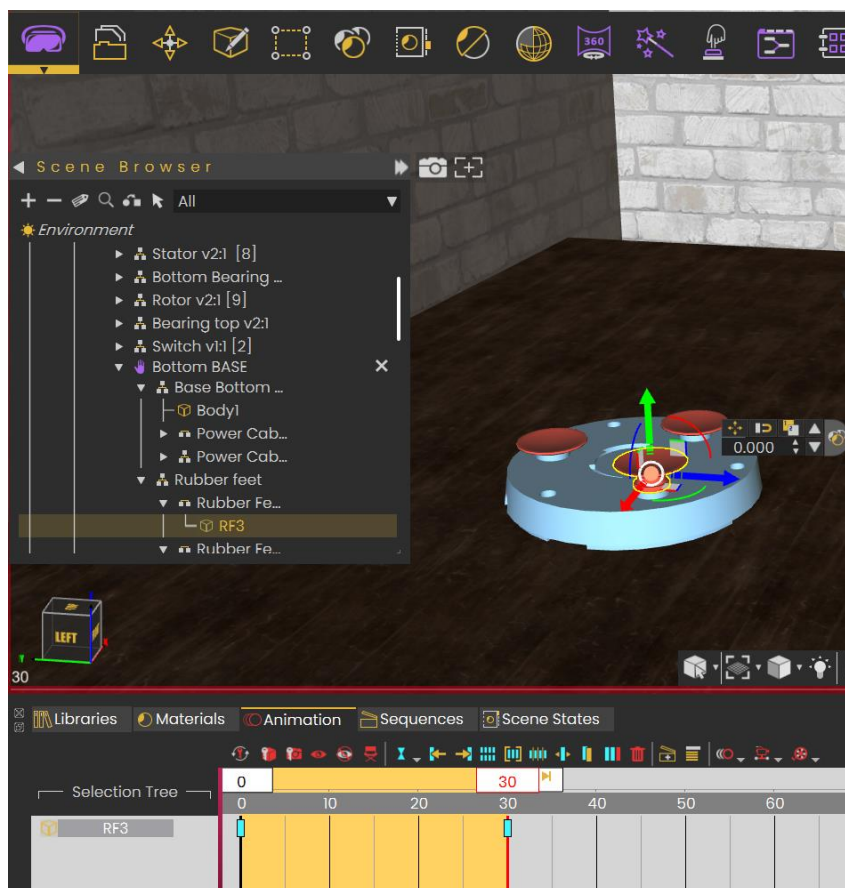
Slika 91. Postavljanje funkcije *Capture SceneState*

Zatim je potrebno stvoriti veze unutar *Training Buildera*. Odabire se funkcija *Node Entered Node* kako bi se vizualiziralo postavljanje donjeg dijela kućišta na pomoćni stol na način da pri kontaktu između donjeg dijela kućišta i pomoćnog stola unutar virtualne stvarnosti pomoću funkcije *Apply SceneState* dolazi do izvođenja prethodno generirane scene. Sve scene pohranjene su u izborniku *SceneState* odakle se odabiru. Isto tako nakon izvršene funkcije *Node Entered Node* pomoću funkcije *Change Node Grabbable State* mijenja se stanje donjeg dijela kućišta, tako da ga korisnik više nije u mogućnosti uhvatiti i pomicati, i korisniku se omogućuje prihvat kliješta u VR-u s kojima će izvlače gumene noge iz donjeg dijela kućišta.



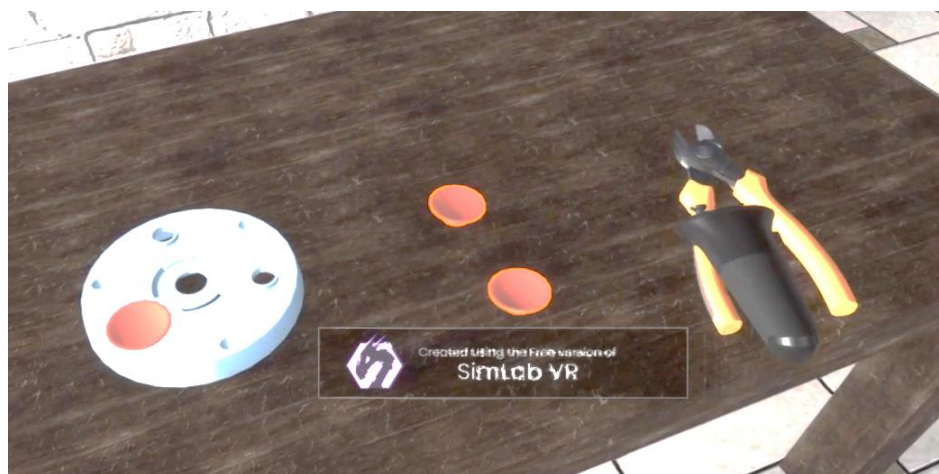
Slika 92. Izrada veze za postavljanje donjeg dijela kućišta na stol

Zatim se stvara veza između kliješta i gumenih nogu. Kako bi korisnik imao što realističnije iskustvo stvaraju se animacije koje nastupaju nakon što kliješta stupe u kontakt sa gumenim nogama. Animacije izvlačenja gumenih nogu iz kućišta kreiraju se pomoću alata *Animation*. Kreiranje animacija objašnjeno je u metodologiji. Za pohranjivanje animacije potrebno je označiti pravokutnike na FPS traci i pritisnuti *Create An Animation Sequence*.

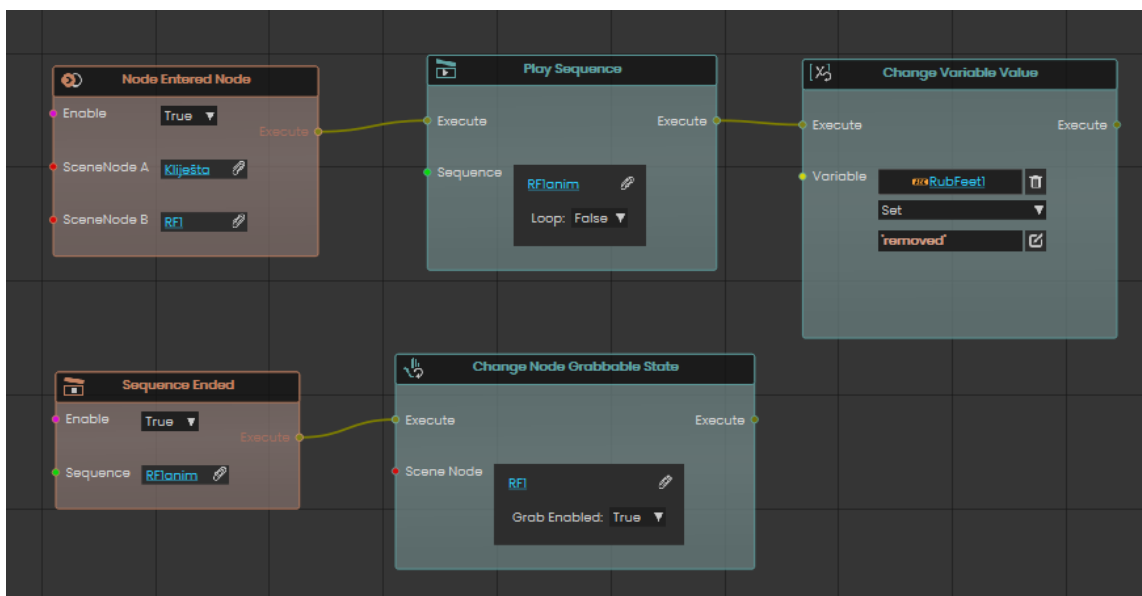


Slika 93. Stvaranje animacije izvlačenja gumenih nogu

Zatim se kreiraju veze. Animacija izvlačenja gumenih nogu iz kućišta pokreće se pomoću funkcije *Play Sequence* koja se spaja sa izrađenim animacijama. Animacije se prikazuju kada kliješta stupe u kontakt sa gumenom nogom. Potrebno je kreirati novu varijablu i postaviti varijablu na „removed“ kada stupe u kontakt. Kako bi korisnik mogao uhvatiti i pomicati gumene noge unutar VR-a potrebno je pomoću funkcije *Sequence Ended* odrediti da završavanjem animacije gumene noge postaju *Grabbable*, odnosno mogu se uhvatiti.

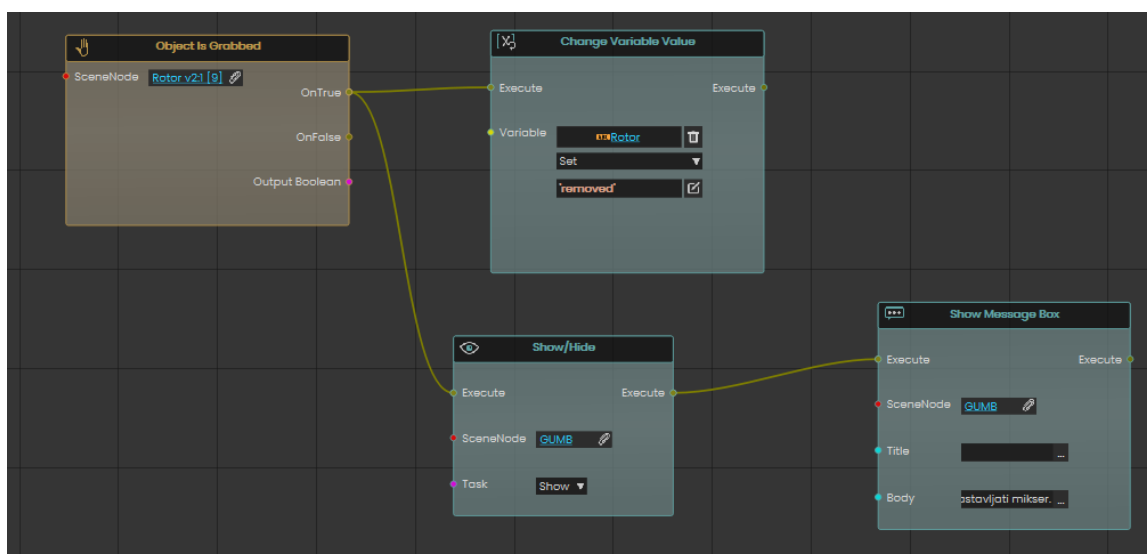


Slika 94. Izvlačenje gumenih nogu



Slika 95. Postavljanje veze za izvlačenje gumenih nogu

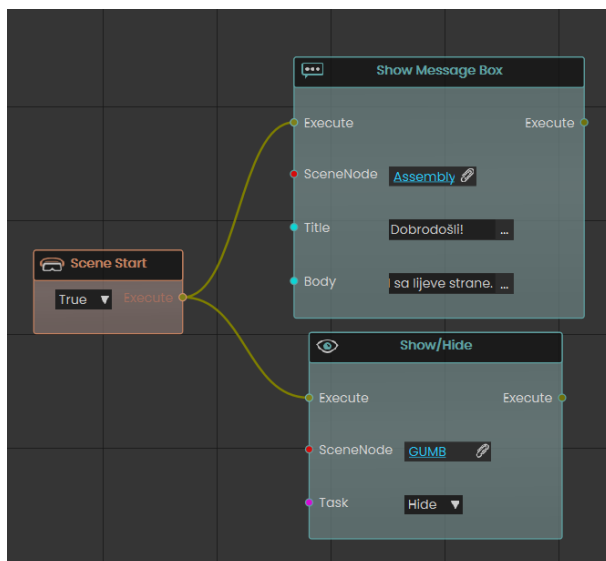
Rotor je posljednja komponenta miksera za koju se mora omogućiti prihvat u virtualnoj stvarnosti. S obzirom na to da rotor više nije u kontaktu sa niti jednim dijelom miksera za rotor se koristi različita veza. Pomoću funkcije *Object Is Grabbed* postavlja se uvjet da čim korisnik uhvati rotor varijabla mu se mijenja u „removed“ i tada je mikser u potpunosti rastavljen.



Slika 96. Postavljanje veze za rotor i gumb

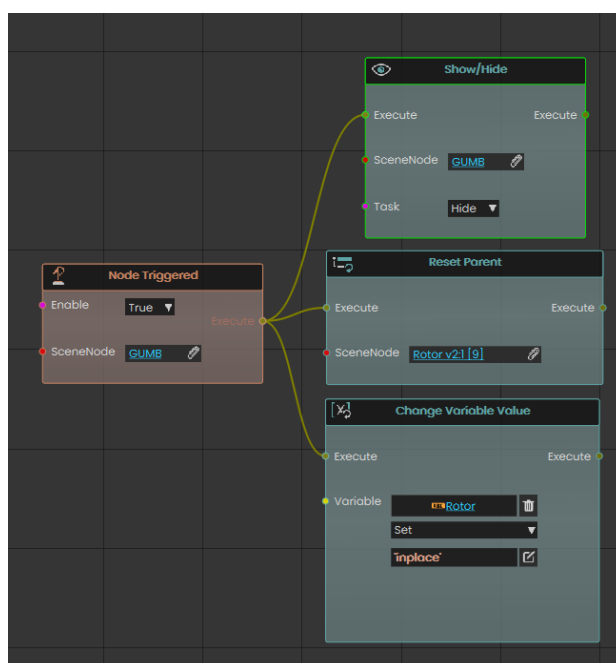
Nakon što je mikser u potpunosti rastavljen, može se krenuti sa sastavljanjem miksera. Za postavljanje rotora u početni položaj na stolu potrebno je pritisnuti gumb koji se pojavljuje kada se rotor pomakne (Slika 79.). Gumb je sakriven pomoću funkcije *Scene Start*, koja određuje virtualnu okolinu kada korisnik uđe u nju, i funkcije *Show/Hide* gdje je napravljena veza da korisnikovim ulaskom u virtualnu stvarnost gumb postaje nevidljivi (Slika 80.). Za prikazivanje gumba kada je rotor izvan početnog položaja potrebno je povezati ga sa još jednom funkcijom

Show/Hide koja prikaže gumb kada rotor napusti svoj prvobitan položaj (Slika 79.). Gumb se vidi na slici 73. gdje je prikazan u potpunosti rastavljen mikser.



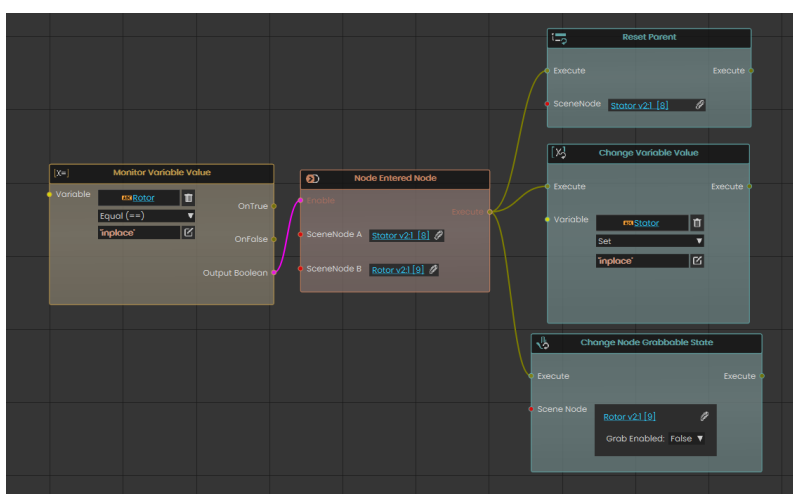
Slika 97. Postavljanje veze pri ulasku u virtualnu stvarnost

Nakon što je gumb prikazan potrebno je kreirati vezu da se pritiskom gumba rotor vraća na prvobitnu poziciju na stolu. Veza se stvara pomoću funkcije *Node Triggered*, koja zapravo znači da pritiskom na odabranu komponentu dolazi do nekog događaja, i funkcije *Reset Parent*, koja vraća komponentu u prvobitnome stanju. Nakon što je rotor u prvobitnom položaju potrebno je sakriti gumb pomoću funkcije *Show/Hide* i varijablu rotora promijeniti u „inplace“ koja govori računalu da se rotor nalazi na prvobitnoj poziciji.



Slika 98. Postavljanje veze za pritisak gumba

Kada je rotor vraćen na prvobitnu poziciju potrebno je napraviti vezu između njega i statora kako bi se stator vratio u početni položaj. Prvo računalo dobiva informaciju da se rotor nalazi na početnoj poziciji pomoću funkcije *Monitor Variable Value*. Zatim kada je ta tvrdnja istinita stator mora stupiti u dodir sa rotorom kako bi nastupila vizualizacija sklapanja proizvoda. Vizualizacija se izrađuje pomoću funkcije *Node Entered Node* i *Reset Parent*, odnosno kada stator stupi u kontakt sa rotorom dolazi do vraćanja statora u prvobitan položaj. Nakon što je stator vraćeni u početni položaj potrebno je varijablu promijeniti u „inplace“ čime se onemogućuje korisniku da uhvati rotor u virtualnoj stvarnosti. Potrebno je primjetiti da se rotor više ne može pomicati jer je prestao svijetliti, što znači da smo je veza ispravno postavljena (Slika 100.). Identičan postupak ponavlja se za svaku komponentu.



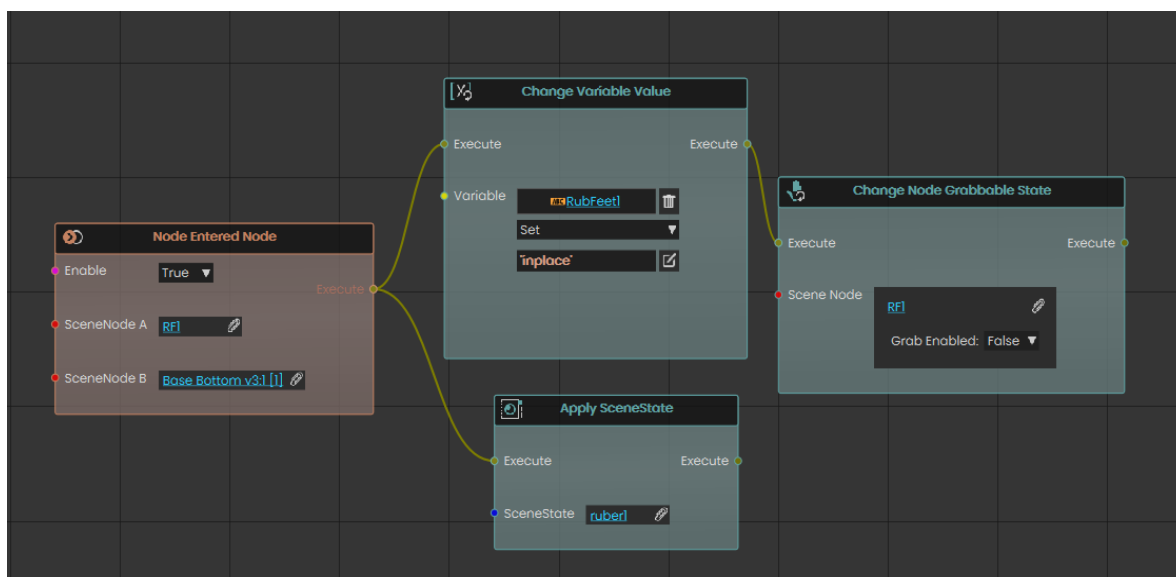
Slika 99. Postavljanje veze između statora i rotora



Slika 100. Sastavljeni stator i rotor

Još je potrebno postaviti vezu za sastavljanje gumenih nogu i donjeg dijela kućišta. Kako bi se gumene noge vratile na mjesto potrebno je pomoću funkcije *Capture SceneState* kreirati scenu za svaku gumenu nogu zasebno za početni položaj u donjem dijelu kućišta na pomoćnom stolu. Scena se kreira jednako kao i scena postavljanja cijelog donjeg dijela kućišta na pomoćni stol.

Ovdje se ne može koristiti funkcija *Reset Parent*, jer bi se gumene noge vratile na početnu poziciju kada je mikser sastavljen, već se koristiti funkcija *Apply SceneState* koja nastupa kada gumena noga stupi u kontakt sa donjim dijelom kućišta. Kada je gumena noga na mjestu postavlja joj se varijabla „*inplace*“ i onemogućuje se korisniku da ponovno uhvati gumenu nogu, osim ako ju ponovno ne izvuče pomoću kliješta. Identičan postupak treba napraviti za sve gumene noge.

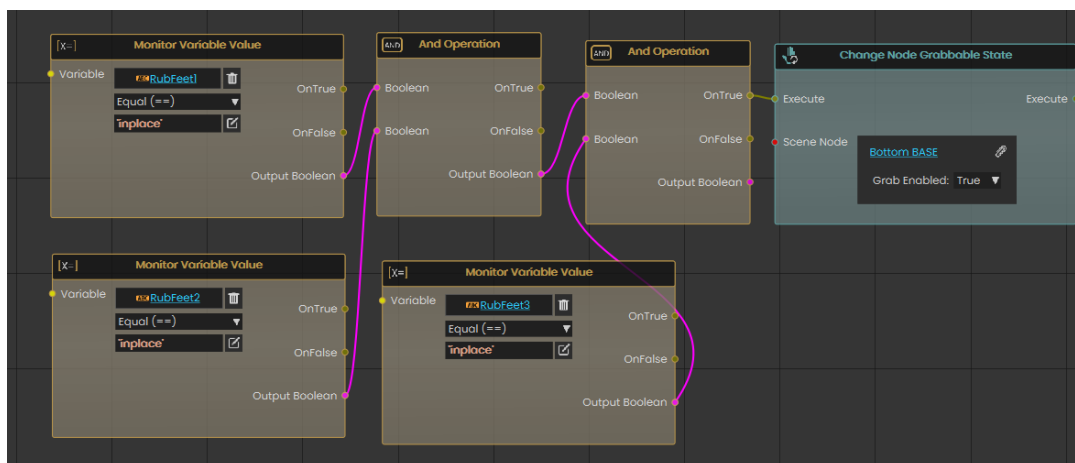


Slika 101. Postavljanje veze sastavljanja gumenih nogu u kućište



Slika 102. Postavljanje gumenih nogu u virtualnoj stvarnosti

Za kraj kako bi korisnik mogao uhvatiti donji dio kućišta potrebno je povezati funkcije na način da se donji dio kućišta može uhvatiti tek nakon što su gumene noge na mjestu, a zatim i sastaviti sa ostatkom miksera.



Slika 103. Postavljanje veze za pomicanje donjeg dijela kućišta

Radi lakšeg snalaženja unutar virtualne stvarnosti koristi se funkcija *Show Message Box* (Slika 104.) pomoću koje se kreiraju upute za korisnika u virtualnoj stvarnosti. Poruka sa uputama se ne pojavljuje direktno na ekranu ispred korisnika, već je potrebno odrediti objekt iznad kojega će se prikazivati.



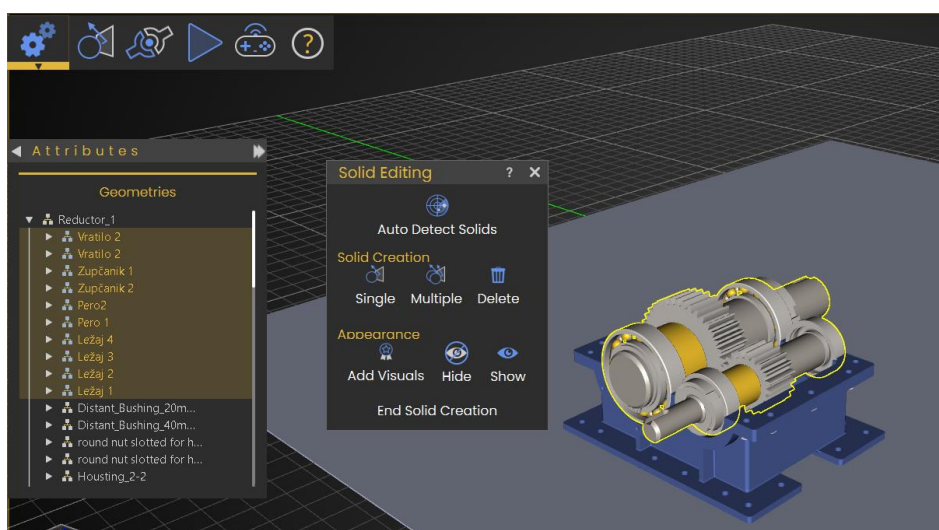
Slika 104. Prikazivanje uputa u virtualnoj stvarnosti

Iz ovoga primjera se vidi da je *SimLab VR Studio* odličan alata za potrebe rastavljanja i sastavljanja proizvoda unutar virtualne stvarnosti. VR Studio nudi korisnicima realne vizualizacije procesa s mogućnostima dizajniranja posebnih vizualnih efekata za specifične radnje. Stvaranje samih veza je olakšano pomoću alata *Training Buildera* koji omogućava jednostavan i efikasan rad. Najveći problem pri izradi može predstavljati pravilno grupiranje komponenti u hijerarhijskom stablu, što je neizbježno za pravilno funkcioniranje virtualne okoline. Isto tako postoje ograničenja pri rastavljanju i sastavljanju proizvoda, budući da se proizvod mora striktno sastavljati na početnoj poziciji modela proizvoda.

4.4 Simulacija rada

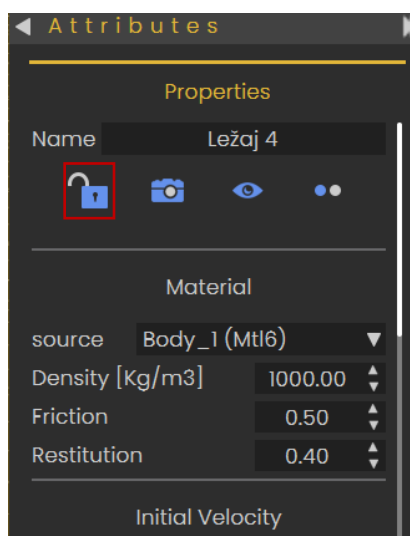
U ovom primjeru kreirane su simulacije rada reduktora i robotske ruke. Simulacije služe za optimizaciju i testiranje sustava prije proizvodnje prototipa, čime se dobiva povratna informacija o performansama i mogućnostima za poboljšanje modela proizvoda. Oba primjera kreirana su u *SimLab Composeru* korištenjem alata *Simulation*.

Za simulaciju rada reduktora, prvo je potrebno odrediti komponente modela koje se koriste za simulaciju rada. Unutar izbornika *Solid* za navedeni primjer odabrana su dva vratila, pera i zupčanika, te ležajevi na kojima su vratila uležištena. Navedene komponente pretvorene su u *Solids* (kruta tijela).



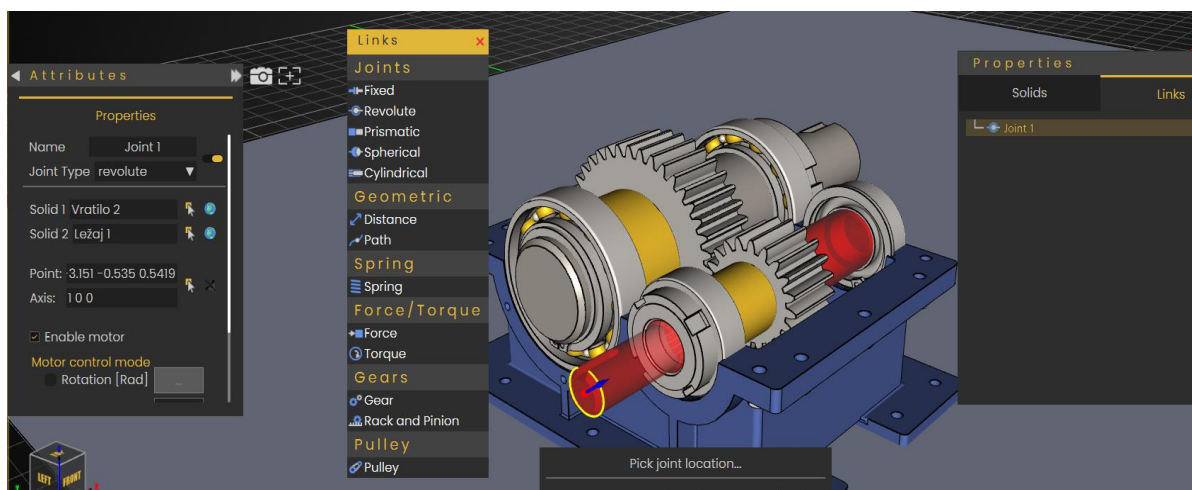
Slika 105. Kreiranje krutih tijela

Potrebno je odabrati sva četiri ležaja i fiksirati ih pomoću opcije *Make the solid fixed*. Ležaji se mogu odabrati pritiskom unutar virtualnog prostora ili unutar popisa krutih tijela.



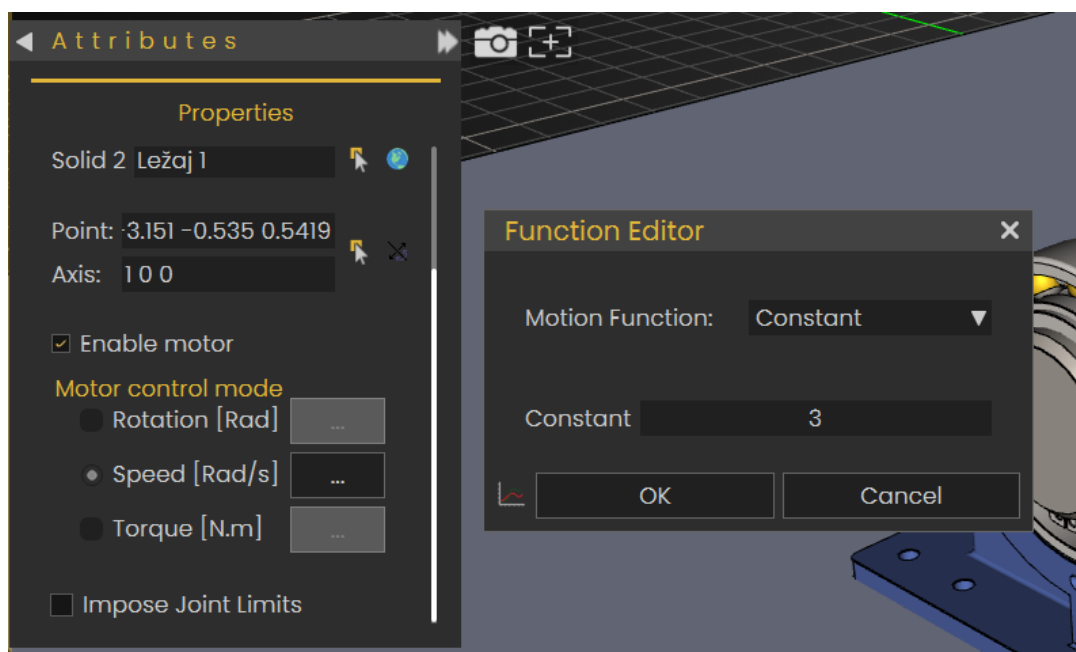
Slika 106. Fiksiranje komponente

Zatim se unutar izbornika *Links* (veze) odabiru odgovarajuće veze za komponente. Postavljaju se veze između ležajeva i vratila pomoću funkcije *Revolute* (Slika 107.). Unutar funkcije kao kruto tijelo 1 odabrano je vratilo 1, pogonsko vratilo, a kao kruto tijelo 2 ležaj. Zatim je potrebno odrediti rotacijsku os, na način da se pritisne bilo koja kružnica sa središtem u rotacijskoj osi. Isti postupak ponavlja se za postavljanje veza između ostalih ležajeva s vratilima.



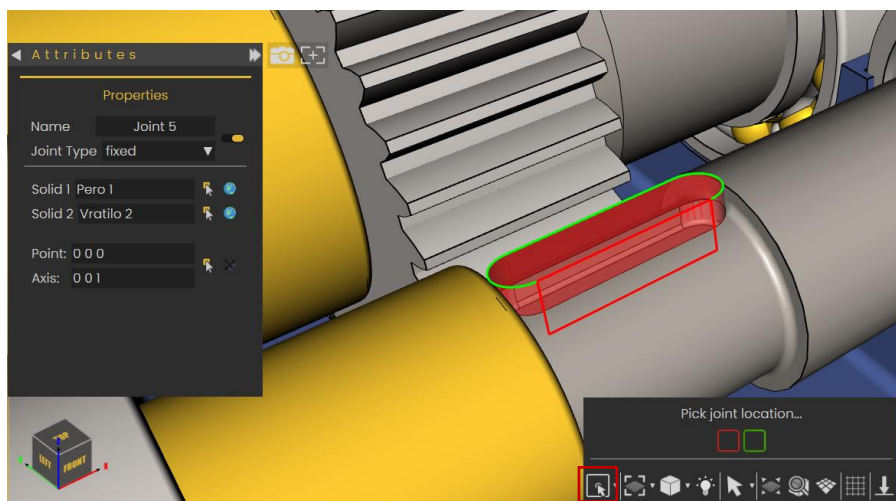
Slika 107. Postavljanje veze *Revolute*

Za pogonsko vratilo unutar veze *Revolute* potrebno je označiti opciju *Enable motor* (Slika 108.), koja omogućuje vrtnju vratila. Zatim se odabire jedinica koja korisniku najviše odgovara, u ovom slučaju odabrana je brzina vrtnje koja je konstantna i iznosi 3 *Rad/s*.



Slika 108. Opcija *Enable motor*

Nakon toga pero se fiksira na poziciju unutar vratila pomoću veze *Fixed*. Prvo se odabiru pero i vratilo, te je zatim potrebno označiti površinu na kojoj su fiksirani. Unutar izbornika *Select Object* koji je označen na slici 109. odabire se opcija *Pick Edge Loop* pomoću koje je označena površina dodira. U ovom slučaju potrebno je pritisnuti na crveni kvadratić da bi se odabrala crvena površina. Isti postupak se ponavlja za pero gonjenog vratila.

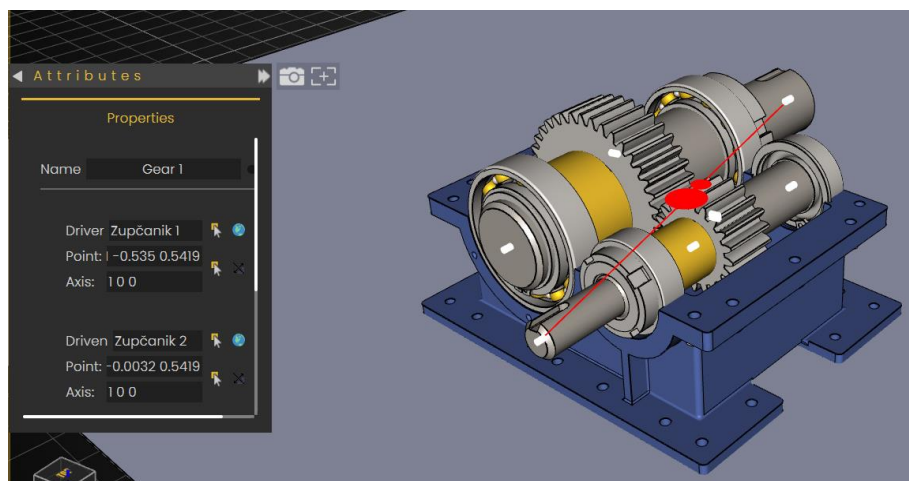


Slika 109. Postavljanje funkcije *Fixed*

Zatim se pomoću funkcije *Fixed* povezuju pero i zupčanik. Odabiru se zupčanik i pero kao kruta tijela, te se na identičan način označava površina fiksiranja. Za lakši odabir površina zupčanici se mogu sakriti, te odabrati unutar popisa krutih tijela.

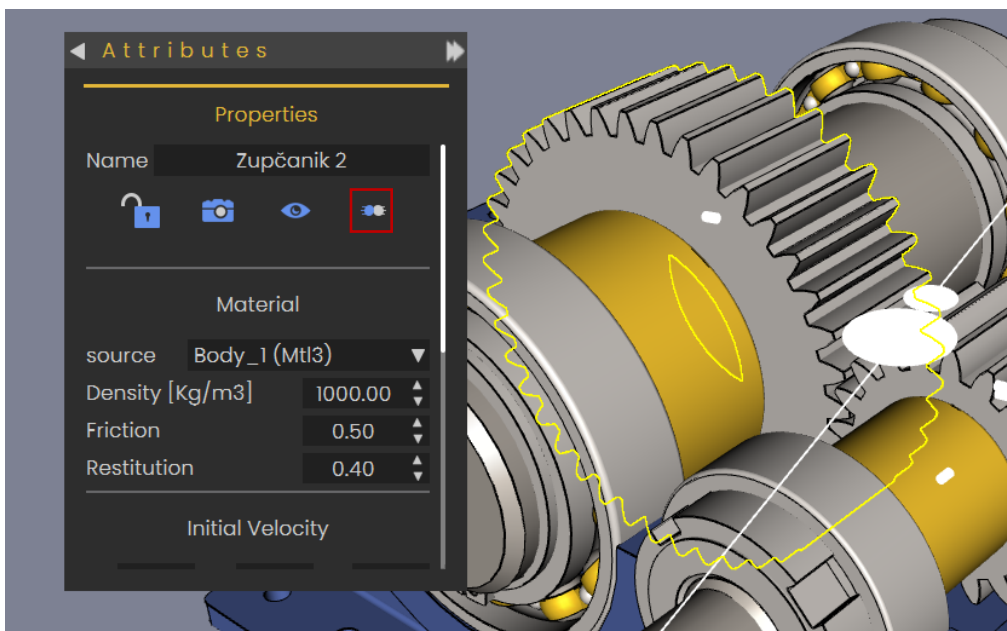
Nakon povezivanja pera i zupčanika, pomoću funkcije *Revolute*, povezani su zupčanik i vratilo na identičan način kao na slici 107.

Za povezivanje zupčanika korištena je funkcija *Gear*. Unutar funkcije prvo je potrebno označiti pogonski zupčanik i os rotacije pogonskog vratila, te se zatim isto učini i za gonjeni zupčanik i vratilo.



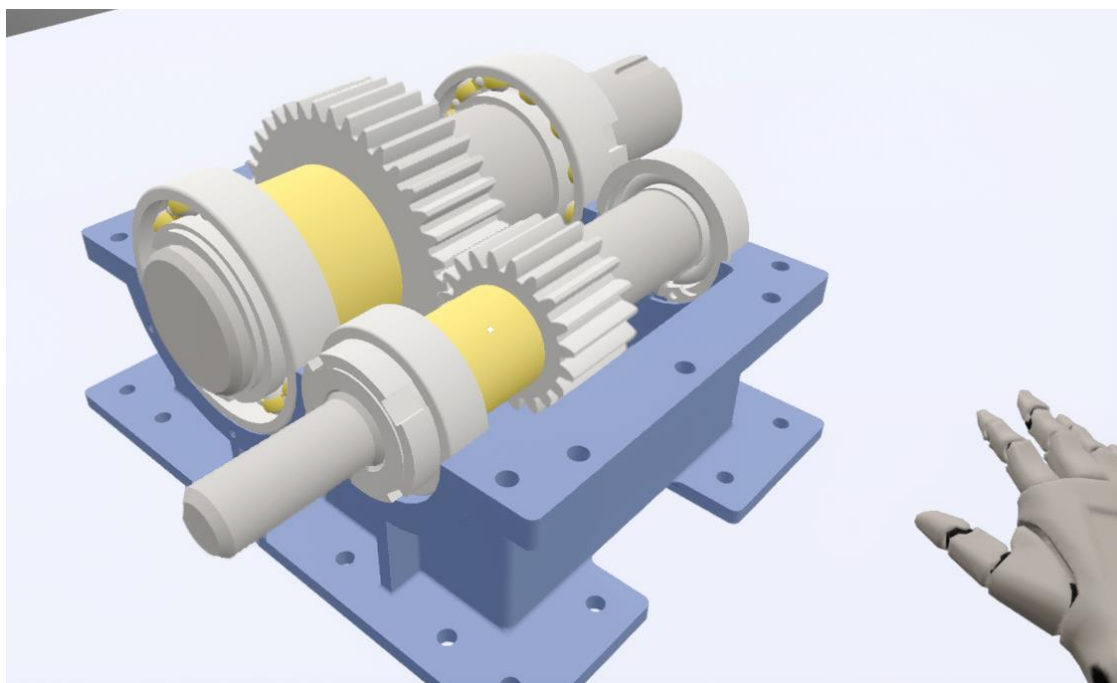
Slika 110. Postavljanje funkcije *Gear*

Za kraj potrebno je za oba zupčanika unutar opcija uključiti *Enable Collision* (kolizija) kako bi se postigla realna vizualizacija vrtnje zupčanika reduktora.



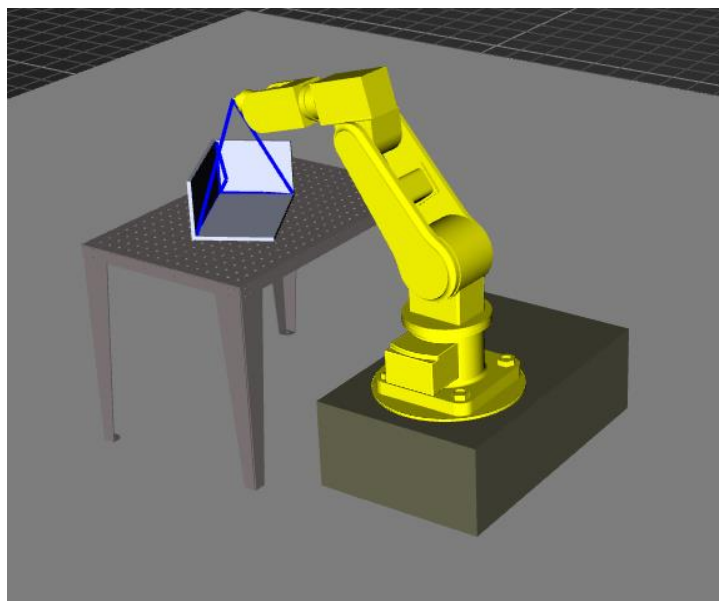
Slika 111. Uključivanje opcije *Enable Collision*

Spremanje simulacije u obliku animacije i ulazak u virtualnu stvarnost detaljno su objašnjeni u poglavlju metodologije.



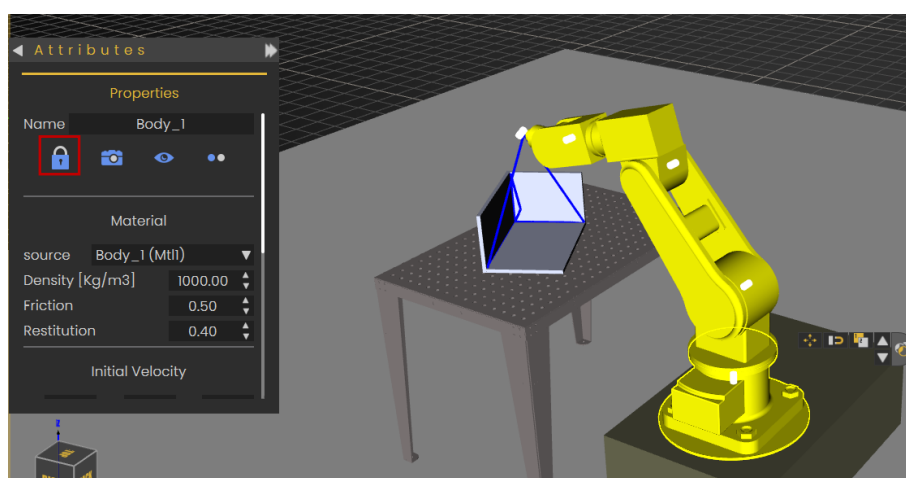
Slika 112. Simulacija rada reduktora unutar virtualne stvarnosti

Na primjeru autonomne robotske ruke za zavarivanje prikazana mogućnost kreiranja autonomnih sustava unutar alata za simulacije SimLab Comosera korištenje funkcije *Path*.



Slika 113. Robotska ruka zavarivanje unutar virtualnog prostora

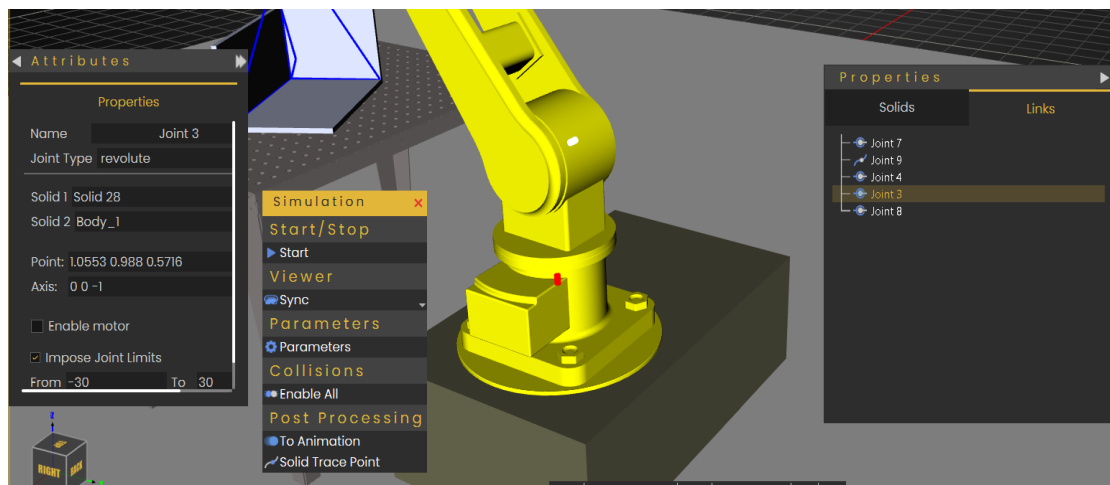
Nakon učitavanja modela, potrebno je povezati robotsku ruku korištenjem alata za simulacije. Za komponente koje postaju kruta tijela, odabiru se sve komponente robotske ruke i kutijasta konstrukcija koja se zavaruje. Zatim je potrebno pomoću opcije *Make the solid fixed*, fiksirati postolje robotske ruke.



Slika 114. Fiksiranje postolja robotske ruke

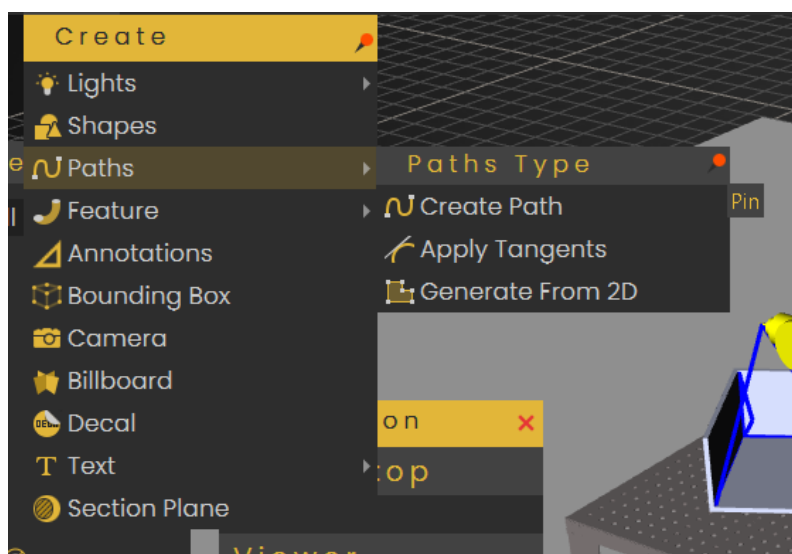
Nakon toga pomoću funkcije *Revolute* kreirane su rotacijske veze između dijelova. Potrebno je povezati sve zglobove pomoću navedene funkcije, te im zadati ograničenja rotacije pomoću opcije *Impose Joint Limits*. Također potrebno je uključiti opciju *Enable Collision* svih komponenti robotske ruke, kako komponente ne bi ulazile jedna u drugu. Za brži odabir koristi se opcija *Enable All Collisions* unutar izbornika *Simulation*. Pomoću nje uključuje se svojstvo kolizije za sva kruta tijela, što uključuje i kutijastu konstrukciju, čije bi svojstvo kolizije

svakako trebalo biti uključeno kako robotska ruka ne bi dolazila u nepoželjni kontakt s konstrukcijom.



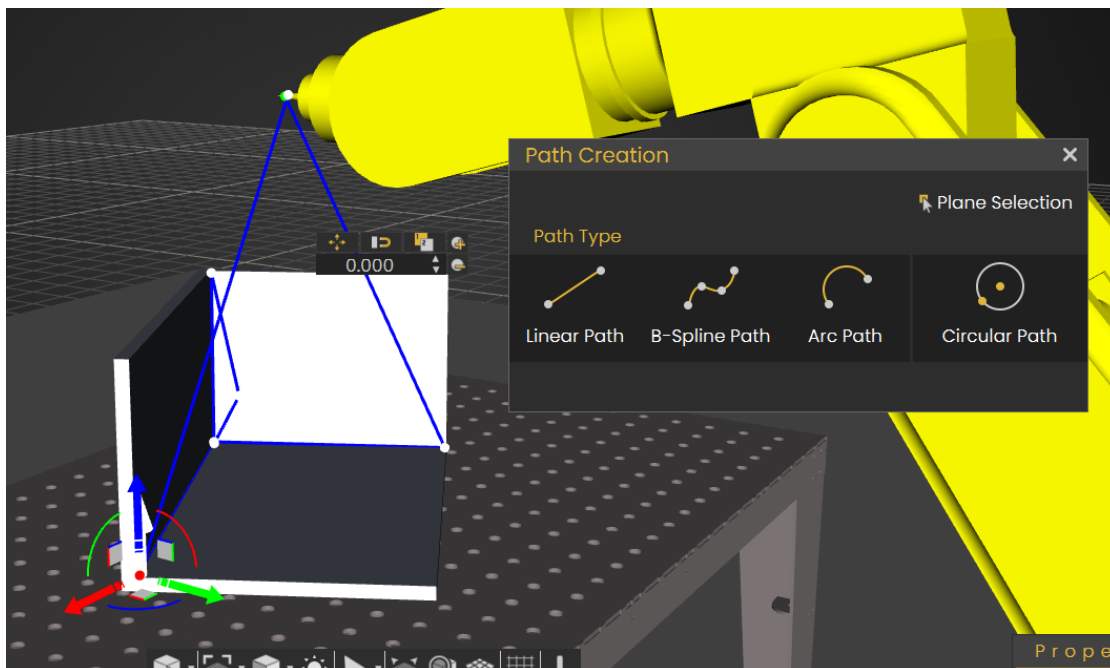
Slika 115. Kreiranje veze *Revolute* za robotsku ruku

Zatim se unutar alata *Virtual Reality* kreira putanja koju robotska ruka prati. Putanja se kreira pomoću funkcije *Create Path* unutar izbornika *Create*, te se odabire izrada funkcije u virtualnom prostoru i tip putanje pomoću koje se funkcija kreira, što je u ovom slučaju *Linear Path*.



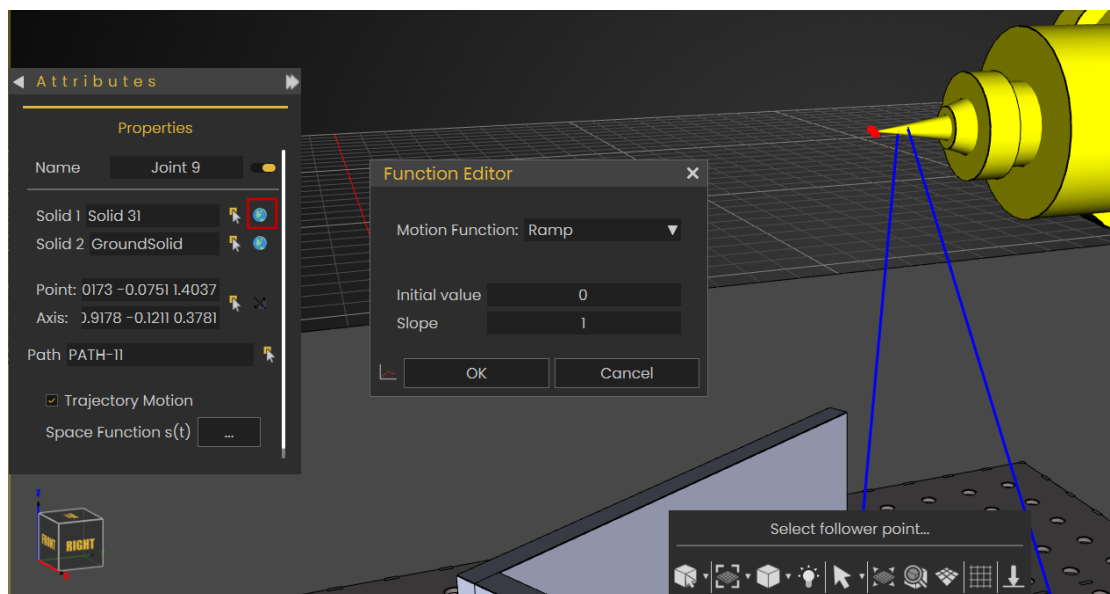
Slika 116. Izbornik *Paths*

Putanja se kreira principom postavljanjem točaka unutar virtualnog prostora. U ovom primjeru izrađena je putanja koja kreće i završava na vrhu alata za zavarivanje, a između početne i krajnje točke postavljena je na mjestu kako bi pokrila cijeli put koji robotska ruka mora prijeći kako bi zavarila kutijastu konstrukciju. Odabirom točaka na putanji otvara se sustav za pozicioniranje pomoću kojeg se točke mogu dodatno pozicionirati.



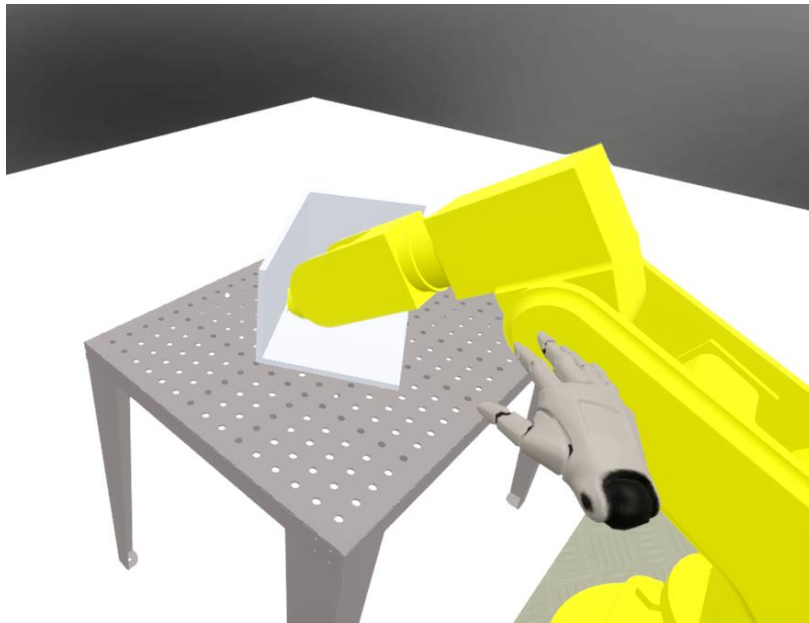
Slika 117. Kreiranje putanje

Nakon što je putanja kreirana, unutar alata *Simulation* odabire se funkcija *Path*, pomoću koje robotska ruka prati kreiranu putanju. Za kruto tijelo 1 odabiran je dio alata na kojemu se nalazi pištolj za zavarivanje, dok se za kruto tijelo 2 obadire *Ground* pritiskom na planetu (Slika 118.) pokraj polja za unos. Zatim je potrebno postaviti točku na pištolju za zavarivanje koja prati putanju, na način da se u izborniku *Select Objects* odabere opcija *Default Pick* i pritisne se na vrh pištolja za zavarivanje. Na kraju se odabere putanja unutar virtualnog prostora. Potrebno je uključiti opciju *Trajectory Motion*, te odabrati opciju *Ramp* za praćenje putanje.



Slika 118. Postavljanje veze *Path*

Za spremanje simulacije kao animacije i ulazak u virtualnu stvarnost pogledati poglavlje metodologije.



Slika 119. Prikaz procesa zavarivanja u virtualnoj stvarnosti

5. ZAKLJUČAK

Spoj virtualne stvarnosti i interaktivnosti predstavlja jedno od najperspektivnijih područja razvoja tehnologije, s potencijalom za transformaciju mnogih industrija uključujući strojarstvo, građevinu, medicinu i područja poput dizajna, školstva i industriju zabave. Iako su u prošlosti tehnologije virtualne stvarnosti bile nedostupne i pune ograničenja, danas su one sve dostupnije i sofisticiranije što nudi i manjim tvrtkama da se moderniziraju i unaprijede u najbitnijim aspektima razvoja proizvoda kao što su kreativnost i inovativnost. U ovom radu najveći dio pažnje posvećen je interaktivnosti između računalnog modela proizvoda, korisnika i virtualne okoline kao ključnoj komponenti koja je potrebna za simuliranje korisničkih iskustava. Primjenom interaktivnosti korisnik duboko uranja u virtualno okruženje gdje se može kretati, manipulirati modelima i okruženjem i izvršavati radnje bez imalo napora npr. za podizanje objekta, te korisnik može ponavljati radnje i učiti na svojim pogreškama bez imalo straha za negativnim posljedicama što je osobito važno u obrazovnim kontekstu.

Metodologija izrade VR iskustva ukazuje na važnost sustavnog pristupa kako bi se smanjila mogućnost za neispravan rad interakcija, te se ukazalo na mogućnost postizanja poboljšanja efikasnosti pri kreaciji virtualnog okruženja. Primjer prilagodbe prostorije pokazuje da se VR može koristiti za kreativnu slobodu pri kreiranju vlastitog prostora. Omogućujući odabir izgleda prostorije i promjenu elemenata prema vlastitim željama, korisnik može razumjeti i doživjeti prostor prije nego što je isti izgrađen u stvarnosti, što može značajno ubrzati odlučivanje i eliminirati pogreške u područjima poput arhitekture i dizajnu interijera. Na primjeru vizualnih efekata ističe se važnost stvaranja estetičnog i dinamičnog vizualnog doživljaja čime se omogućuje duboko uranjanje korisnika u svijet virtualne stvarnosti, te je prikazano da se spajanjem više efekata u jednu cjelinu mogu kreirati vrlo stvarni prikazi virtualne stvarnosti. Primjer rastavljanja miksera ističe mogućnosti virtualne stvarnosti u tehničkom obrazovanju učenika i obuci radnika. Omogućujući korisnicima da kroz interaktivnu simulaciju rastavljaju proizvod, korisnik dobiva detaljan uvid u različite mehanizme i komponente uređaja bez potrebe za fizičkim rastavljanjem, čime se smanjuju troškovi i rizici. Ovakvi tipovi simulacija mogu biti korišteni u industrijama za obuku radnika i obrazovnim institucijama za lakšu percepciju i bolje razumijevanje mehanizama i načina rada. Simulacije poput rada reduktora i zavarivanja autonomne robotske ruke, koje služe za analizu i preispitivanje ispravnosti modela, gdje korisnik može dobiti povratne informacije o kinematici modela, naprezanju modela i podatke o prijenosu snage i momenta.

Interaktivnost unutar virtualne stvarnosti pruža mogućnost za razvoj novih iskustava i razvoj na način da omogućuje korisnicima sudjelovanje u procesu. Danas, virtualna stvarnost je komplementarna tehnologija za kreiranje CAD modela, koja ima mogućnost u potpunosti zamijeniti klasičan pristup modeliranju na računalu. Za očekivati je da će napretkom tehnologija VR imati još veću ulogu u inovativnim procesima te da će transformirati mnoge industrije, uključujući strojarstvo.

LITERATURA

- [1] Giorge C. Burdea, Philippe Coiffet: Virtual Reality Technology , John Wiley , & Sons, 2003.; 2
- [2] Horvat N.: Virtual Reality Supported Transition Processes In Team Developing Products, 2023.; 179 180
- [3] L. Bennes (2010.). Multifunctional Virtual Screen : a 3D User Interface for stylist and medical engineer a 3D [Online]. Dostupan: URL https://www.researchgate.net/figure/Bimanual-asymmetric-sketching-drawing-function_fig4_260017663
- [4] M. Velickho (posjet 2025. veljača 16.). Using Virtual Reality for Surgical Simulation Training [Online]. Dostupan: URL <https://www.jasoren.com/using-virtual-reality-for-surgical-simulation-trainings/>
- [5] Interaction Design Foundation (2024. siječanj 24.). What are VR Headsets? [Online]. Dostupan: URL https://www.interaction-design.org/literature/topics/vr-headsets?srsId=AfmBOopfaVTKb_2mjeycF8tNLBGyo5sCSVMvnDCBYFDZM8F191Ba_uQq
- [6] Conrad (posjet 2025. veljača 17.). Dostupan: URL <https://www.conrad.hr/hr/p/htc-vive-pro-2-naocale-za-virtualnu-stvarnost-crna-uklj-senzor-pokreta-s-integriranim-zvucnim-sustavom-2369238.html>
- [7] Edify (posjet 2025. veljača 17.). VR Control Basics [Online]. Dostupan: URL <https://www.edify.ac/support-items/vr-control-basics>
- [8] SynergyXR (posjet 2025. veljača 9.). VR Controllers : A Comprehensive Review [Online]. Dostupan: URL <https://synergyxr.com/resources/learn/blogs/vr-controllers-a-comprehensive-review/>
- [9] iPON (posjet 2025. veljača 9.). Dostupan: URL <https://iponcomp.hr/shop/proizvod/htc-99hanm003-00-vive-controller-20-kontroler/1699481>
- [10] Pressbooks (posjet 2025. veljača 17.). Augmented and Virtual Reality: The next big thing in marketing? [Online]. Dostupan: URL <https://pressbooks.pub/augmentedrealitymarketing/chapter/sensors-for-arvr/>
- [11] Snapklik (posjet 2025. veljača 9.). Dostupan: URL <https://snapklik.com/en-ca/product/new-hadar-vr-tripod-stand-htc-vive-compatible-sensor-stand-and-base-station-for-vive-sensors-or-oculus-rift-constellation-2-pack/08LF4PO7CA2F5>

- [12] Autodesk (posjet 2025. veljača 17.). Key Features of VRED Design and Professional [Online]. Dostupan: URL <https://www.autodesk.com/products/vred/features>
- [13] William Chanatry (2021. lipanj 9.). NX Virtual Reality [Online]. Dostupan: URL <https://blogs.sw.siemens.com/nx-design/nx-virtual-reality/>
- [14] SimLab Soft (posjet 2025. veljača 17.). How to Get Started with VR as CAD designer [Online]. Dostupan: URL https://www.simlab-soft.com/use_cases/simlab-vr-mechanical-cad.aspx
- [15] SolidWorks (posjet 2025. veljača 17.). What is new in SOLIDWORKS 2020 – eDrawings VR [Online]. Dostupan: URL <https://www.solidworks.com/media/whats-new-solidworks-2020-edrawings-vr>
- [16] ePLM (posjet 2025. veljača 17.). VR mit NX und Teamcenter Visualization [Online]. Dostupan: URL <https://www.eplm.de/30-news>
- [17] Siemens (posjet 2025. veljača 9.). How Virtual Reality (VR) is changing the way you design, promote and sell [Online]. Dostupan: URL <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/how-virtual-reality-vr-is-changing-the-way-you-design-promote-and-sell/>
- [18] DPVR (posjet 2025. veljača 17.). VR Headsets for Training Application [Online]. Dostupan: URL <https://www.dpvr.com/en/vr-headset-applications/vr-headsets-for-training/>
- [19] Steven M. LaValle: Virtual Reality, Cambridge University Press, 2023.; 203.
- [20] Adobe (posjet 2025. veljača 17.). A guide to 3D file types [Online]. Dostupan: URL <https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/3d-files-formats.html>
- [21] S. Evans (2014. ožujak 18.). Using virtual reality welding to evaluate and train welders [Online]. Dostupan: URL <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/arcwelding/using-virtual-reality-welding-to-evaluate-and-train-welders>
- [22] VREDPRO (2021. studeni 26.). VRED Tutorial 04 White Room [Online]. Dostupan: URL <https://www.youtube.com/watch?v=6ZpvyXW3yGc>

PRILOZI

I. CD-R disc