

# Simulator viličara u virtualnoj stvarnosti

---

**Petrović, Miljenko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:875144>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH**  
**TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Stručni studij**

**SIMULATOR VILIČARA U VIRTUALNOJ STVARNOSTI**

**Završni rad**

**Miljenko Petrović**

**Osijek, 2024.**

**Obrazac Z1S: Obrazac za ocjenu završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju**

**Ocjena završnog rada na stručnom prijediplomskom studiju**

<b>Ime i prezime pristupnika:</b>	Miljenko Petrović
<b>Studij, smjer:</b>	Stručni prijediplomski studij Računarstvo
<b>Mat. br. pristupnika, god.</b>	AR 4748, 19.07.2019.
<b>JMBAG:</b>	0165080493
<b>Mentor:</b>	izv. prof. dr. sc. Časlav Livada
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	izv. prof. dr. sc. Alfonzo Baumgartner
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	izv. prof. dr. sc. Časlav Livada
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	doc. dr. sc. Tomislav Galba
<b>Naslov završnog rada:</b>	Simulator viličara u virtualnoj stvarnosti
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	<b>Obradba informacija (zn. polje računarstvo)</b>
<b>Zadatak završnog rada:</b>	U teorijskom dijelu rada potrebno je opisati osnovne mehanizme rada u virtualnoj stvarnosti dok je za praktični dio rada potrebno u Unityu napraviti simulaciju 3D viličara u virtualnoj stvarnosti. Tema rezervirana za: Miljenko Petrović
<b>Datum ocjene pismenog dijela završnog rada od strane mentora:</b>	17.09.2024.
<b>Ocjena pismenog dijela završnog rada od strane mentora:</b>	Izvrstan (5)
<b>Datum obrane završnog rada:</b>	26.09.2024.
<b>Ocjena usmenog dijela završnog rada (obrane):</b>	Izvrstan (5)
<b>Ukupna ocjena završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio stručni prijediplomski studij:</b>	26.09.2024.



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Osijek, 26.09.2024.

**Ime i prezime Pristupnika:**

Miljenko Petrović

**Studij:**

Stručni prijediplomski studij Računarstvo

**Mat. br. Pristupnika, godina upisa:**

AR 4748, 19.07.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

2

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Simulator viličara u virtualnoj stvarnosti**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Časlav Livada

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA .....	1
<b>2. PREGLED PODRUČJA TEME</b> .....	<b>2</b>
<b>3. DEFINIRANJE SIMULACIJE VOŽNJE VILIČARA</b> .....	<b>4</b>
<b>4. ODABIR SOFTVERA I DODATAKA</b> .....	<b>6</b>
4.1. UNITY .....	6
4.2. UNITY ASSET STORE .....	6
4.2.1. <i>Model viličara</i> .....	6
4.2.2. <i>Auto Hand – VR Interaction alat</i> .....	7
<b>5. RAZRADA SIMULACIJE</b> .....	<b>8</b>
5.1. VILIČAR.....	8
5.2. VIRTUALNE RUKE .....	9
5.3. VOŽNJA .....	10
5.4. SKRETANJE .....	12
5.5. PARKING KOČNICA.....	13
5.6. POLUGE ZA POMICANJE VILICE .....	15
5.7. OKOLINA.....	18
5.8. ZADACI VOZAČU .....	19
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>25</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>26</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>28</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>29</b>

# 1. UVOD

U modernom svijetu mnogi su poslovi i dalje izrazito opasni, posebice obuke koje i dalje ne garantiraju sigurnost. Kako bi ljudi bili spremni na rad u takvim okolnostima, važno je efikasno i sigurno obučavanje radnika. Virtualna stvarnost (engl. *Virtual Reality* - VR) pokazala se kao snažan alat koji može dočarati okruženje potrebno za trening i edukaciju, simulirajući stvarne događaje i poslove bez rizika od fizičkih ozljeda.

Viličar je važan dio opreme u skladištima, industrijskim kompleksima i logističkim centrima. Njegova namjena je omogućiti čovjeku podizanje i prenošenje tereta kojemu je masa znatno veća od one koju bi čovjek mogao sam podići, pritom dolazimo do problematike koju ovaj rad želi riješiti. Upravljanje viličara zahtjeva znanje, preciznost i iskustvo koje nije bilo ostvarivo bez skupog, vremenski zahtjevnog i potencijalno opasnog treninga - tu nastupa virtualna stvarnost.

Cilj ovoga rada je pokazati koliko je zaista efektivna virtualna stvarnost kao alat pomoću korištenja vožnje viličara, jednog od mnogih opasnih poslova, pretvarajući ga u sigurno, interaktivno i edukativno iskustvo. Pri istraživačkom djelu rada koristit će se Unity, pokretački stroj u kojemu se razvija virtualna okolina. Unity omogućava relativno jednostavnu implementaciju (Meta Quest 2: All-In-One VR Headset), naočala za virtualnu stvarnost uz samu simulaciju te se aplikacija može pokrenuti u Android sustavu koji je ključan dio razvojnog okruženja.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Ovaj rad nastoji istražiti pozitivne strane virtualne stvarnosti pri korištenju u stvarnom okruženju. Kroz simulaciju vožnje viličara, rad također pokušava predstaviti virtualnu stvarnost kao korisnu, efikasnu i sigurnu zamjenu za standardno obučavanje radnika. Cilj je rada i dokazati vrijednost virtualne stvarnosti u svakodnevnoj edukaciji radnika, a potencijalno i šire s obzirom da virtualna stvarnost ima mogućnost eliminiranja fizičkih ozljeda čak i kod nestručnih radnika.

## 2. PREGLED PODRUČJA TEME

U istraživanjima su ispitane mogućnosti korištenja virtualne stvarnosti pri zaštiti u radu s fokusom na građevinarstvo i rudarsku industriju, ali istražene su i primjene u drvnoj industriji, upravljanju viličara i mnogim drugima. Uporabe VR-a istražuju se kao koristan način za obuku radnika u navedenim industrijama zbog visokih sigurnosnih rizika s kojima se susreću pri radu s teškim građevinskim strojevima, opasnim uvjetima okoline i ostalim izazovnim okolnostima [1].

Analizom literature nameće se zaključak da obuka u virtualnoj stvarnosti može pomoći ljudima da se pripreme za opasne situacije u stvarnom životu. Nažalost, VR tehnologija nije još ušla u širu primjenu. Prema primjeru u Poljskoj, vodeće tvrtke se većinom nisu odlučile za taj korak, ali one koje daju nam važne povratne informacije. Prema primjenama koje su istražene u Poljskoj, možemo zaključiti da se VR trening ponajviše koristi u rudarstvu, avijaciji, logistici, transpiraciji, mašineriji, šumarstvu i brojnim drugim industrijama [1].

Neke od negativnih strana VR tehnologije koje bi mogle spriječiti njezin napredak je takozvani *Cybersickness* koji se odnosi na osjećaj nelagode prilikom korištenja VR naočala. Neugodni simptomi poput mučnine i nelagode mogu usporiti prihvaćanje tehnologije, a potrebno je i više razumjeti zdravstvene posljedice dugotrajne uporabe tehnologije [2].

Razvoj i validacija mjerenja s većom objektivnošću (npr. psihofiziološki indeksi) i drugih mjernih alata za procjenu efikasnosti VR treninga može poboljšati pouzdanost istraživanja. Takva vrsta obuke može poboljšati sposobnosti suočavanja s nepredvidljivim i opasnim situacijama te dovesti do efektivnijeg osposobljavanja za rad u nepovoljnim uvjetima [3].

Jedan od rijetko dostupnih primjera simulatora viličara u virtualnoj stvarnosti nudi Forklift-Simulator sa sjedištem u Newport Beachu u Sjedinjenim Američkim Državama, a svoju poslovnicu imaju i u Antverpu u Belgiji. Treba naglasiti da Forklift-Simulator nudi realističnu simulaciju vožnje viličara s postajom za vožnju i svim upravljačkim funkcijama viličara. Za razliku od navedenog, simulator predstavljen u ovome radu sastoji se isključivo od softverskog rješenja, odnosno kôda, kojeg pokreću Meta Quest 2 naočale. Forklift-Simulator zbog korištenja sjedeće postaje ima velike dimenzije koje iznose 1.334 m x 0.980 m x 1.053 m

(L/W/H) uz masu od 300 kilograma (Sl.2.1.) što znači da model koji se predstavlja u radu, a koji koristi naočale i upravljače, predstavlja efikasnije rješenje istovremeno lakše za korištenje i za uštedu prostora. Osim toga, pretpostavlja se da je Forklift-Simulator previše skup za mikro-poduzetnike s obzirom na masu, količinu elemenata i cijenu isporuke [4]. Preporučeni model simulacije zahtijeva samo kupnju Meta Quest 2 naočala, izradu adekvatnog kôda i ostalo potrebno modeliranje kako bi se vjerodostojno predstavila vožnja viličara u virtualnoj stvarnosti.



*Slika 2.1. Prikaz Forklift simulatora [4]*



### 3. DEFINIRANJE SIMULACIJE VOŽNJE VILIČARA

Cilj ovoga poglavlja je ustanoviti pojedine komponente koje simulator mora imati kako bi vjerodostojno predstavio iskustvo vožnje viličara.

- **Viličar** kao komponenta mora izgledati uvjerljivo, važno je odabrati model viličara koji uvjerljivo predstavlja model na kojemu će vozač upravljati. Odabran je model na slici 3.1. kao polazna referenca. Kako bi iskustvo vožnje bilo predstavljeno na realističan način, moraju se definirati pojedine komponente vožnje i upravljanja viličarom kao što je:
  - **Vožnja naprijed i unatrag** jer viličar mora imati mogućnost takve vrste kretanja. S obzirom da naočale nemaju opciju upravljanja nogama, vožnja unaprijed bit će dodijeljena jednom od okidača na upravljaču. Vožnja unatrag mogla bi biti dodijeljena suprotnom okidaču, ali za potrebe prikaza prebacivanja viličara u vožnju unatrag smjer vožnje viličara moći će biti obrnut pritiskom na jednu od ostalih tipki na upravljaču. Kočenje će također biti na suprotnom okidaču.
  - **Skretanje** lijevo i desno. S obzirom da je upravljač u dohvat ruke, vozaču je omogućeno da volan s lakoćom okreće kao u stvarnom viličaru.
  - **Parking kočnica** budući da je dizanje iste vrlo važna navika za steći. Iz tog razloga, parking kočnica će biti dio simulacije. Vozaču će tako biti omogućeno podići i spustiti parking kočnicu stiskom na nju i povlačenjem prema gore ili dolje.
  - **Upravljanje vilicom** u većini viličara vrši se s tri poluge. Poluge imaju tri pozicije: sredina, dolje i gore. Svaka pozicija ima svoju funkciju za pojedinu polugu. Također, poluge se moraju vratiti u svoju srednju poziciju kada ih vozač više ne drži rukom. Svaka poluga će se moći upravljati rukama i pomicati će vilicu na svoj način [6].
- **Okolina** je izuzetno bitan element simulacije jer vožnja viličara i rekreacija prostora nema smisla bez brojnih prepreka i opasnosti koje ima jedno skladište. Skladište stoga mora imati objekte koje viličar može podići i mjesto gdje se objekt treba ostaviti.

- **Teret** tako mora imati komponentu mase i komponentu sudaranja kako bi ga vilica mogla podići. Također je potrebno imati mjesto gdje se teret mora odložiti kako bi vozač znao da je uspješno odložio teret.
- **Vozač** mora imati mogućnost gledanja u svim smjerovima. Ruke igrača moraju imati sposobnost upravljati viličarom pomoću volana, podići i spustiti ručnu kočnicu i pomicati vilicu. Vozač također mora imati mogućnost vožnje pomoću okidača te prebaciti viličara u vožnju unatrag pomoću tipke.



*Slika 3.1. – Prikaz CAT viličara [5]*

## **4. ODABIR SOFTVERA I DODATAKA**

### **4.1. Unity**

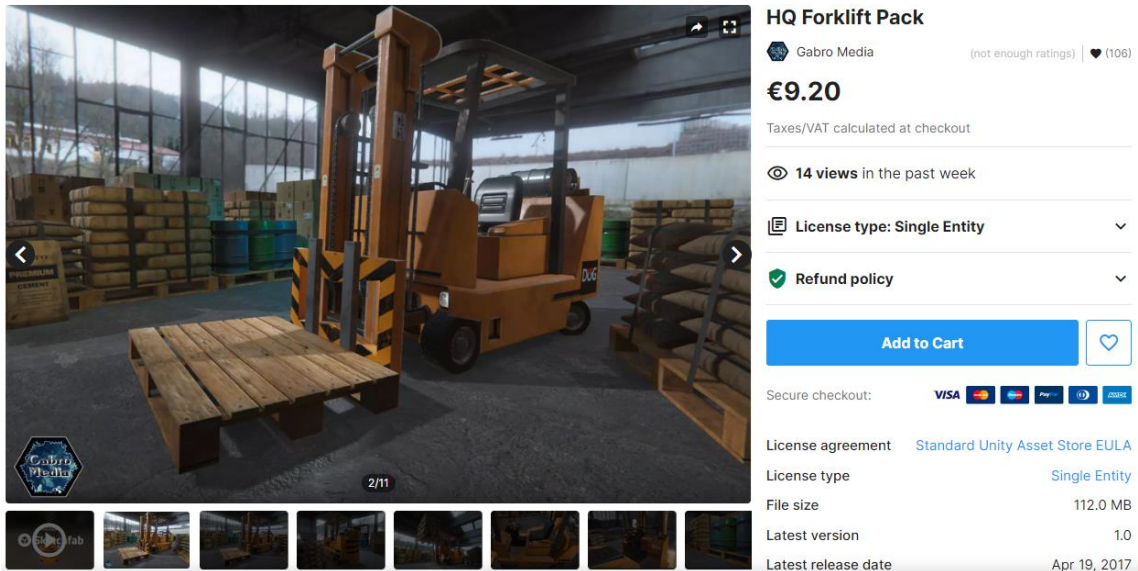
Kako bi prikazali viličara u virtualnoj stvarnosti potrebno je odabrati adekvatan softver, tu se Unity pokazao kao najbolji izbor. Unity je trenutno najpopularniji softver za izradu VR aplikacija i bio je prvi koji je podupirao Oculus Rift (prijašnja iteracija Quest 2 naočala). Veliki faktor u odabiru Unityja je također XR Interaction Toolkit (XRIT) koji znatno olakšava kreiranje VR aplikacija pomoću raznih alata. XRIT pruža brojne mogućnosti kao što su praćenje VR uređaja, praćenje unosa sa upravljača i pruža arhitekturu potrebnu za izradu aplikacije. Unity također omogućuje izradu aplikacija za više platformi i samim time znatno efikasnije omogućava pokretanje aplikacije na Quest 2 naočalima [7].

### **4.2. Unity Asset Store**

Velika prednost Unityja je Unity Asset Store, pomoću njega aplikaciju možemo izraditi daleko brže. Unity Asset Store pruža preko 15.000 besplatnih i plaćenih dodataka kao što su 3D modeli, skripte, materijali i mnogi drugi [8]. U ovom projektu korišteno je nekoliko dodataka, kao što su:

#### **4.2.1. Model viličara**

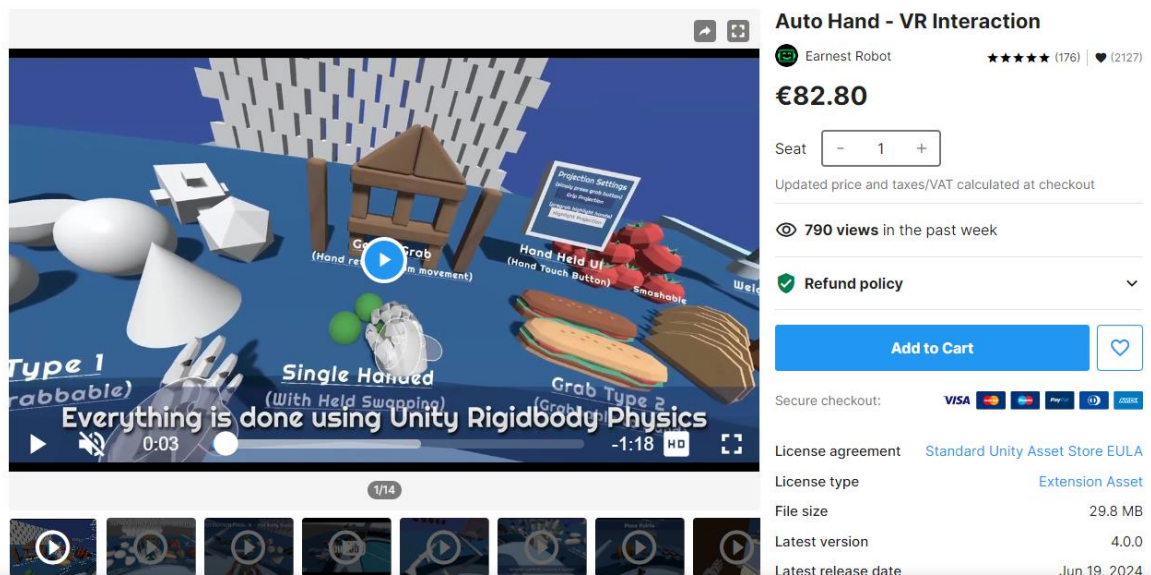
Model koji je bio odabran zove se HQ Forklift Pack (Sl.4.1.) iz razloga što se jako dobro uklapa u ideju samoga rada. Model sadrži: 4 kotača, 3 poluge, parkirnu kočnicu, mehanizam vilice, vilicu, volan, papučice za kočnicu i gas. Uz sam model uključeni su modeli paleta s teretom koji će biti korišteni u okruženju [9]. Kupnjom ovog modela skraćeno je vrijeme potrebno da se simulator završi.



Slika 4.1. HQ Forklift Pack model [9]

## 4.2.2. Auto Hand – VR Interaction alat

Kako bi postigli najbolji mogući prikaz ruku i najbolju interakciju s objektima, korišten je Auto Hand (Sl.4.2.). Auto Hand je jednostavan i višenamjenski alat za fizičku interakciju. Uključuje automatsku promjenu poze modela ruke, više opcija za hvatanje objekata, primjere za tipke, primjere za poluge, interaktivni volan i slično [10]. Korištenjem istog rad će znatno realističnije prikazati ruke osobe koja upravlja viličarom.



Slika 4.2. Auto Hand - VR Interaction alat [10]

## 5. RAZRADA SIMULACIJE

U ovom poglavlju detaljno se razrađuju pojedinačni zahtjevi komponentu po komponentu. Cilj ovog poglavlja je pojasniti kako je koji zahtjev izveden i koja mu je svrha. Poblježe će biti definirane i sve komponente prijašnjeg poglavlja.

### 5.1. Viličar

Viličar je komponenta sama po sebi, a sastoji se od tri elementa; viličara, vilice i mehanizma za upravljanje vilice. Elementi su međusobno spojeni, no radi se o tri individualna objekta od kojih svaki radi svoj zasebni posao. Kontrole su u unutrašnjosti viličara, vilica podiže objekte, a mehanizam mijenja kut putanje vilice (Slika 5.1.).



*Slika 5.1. Prikaz viličara u Unityju*

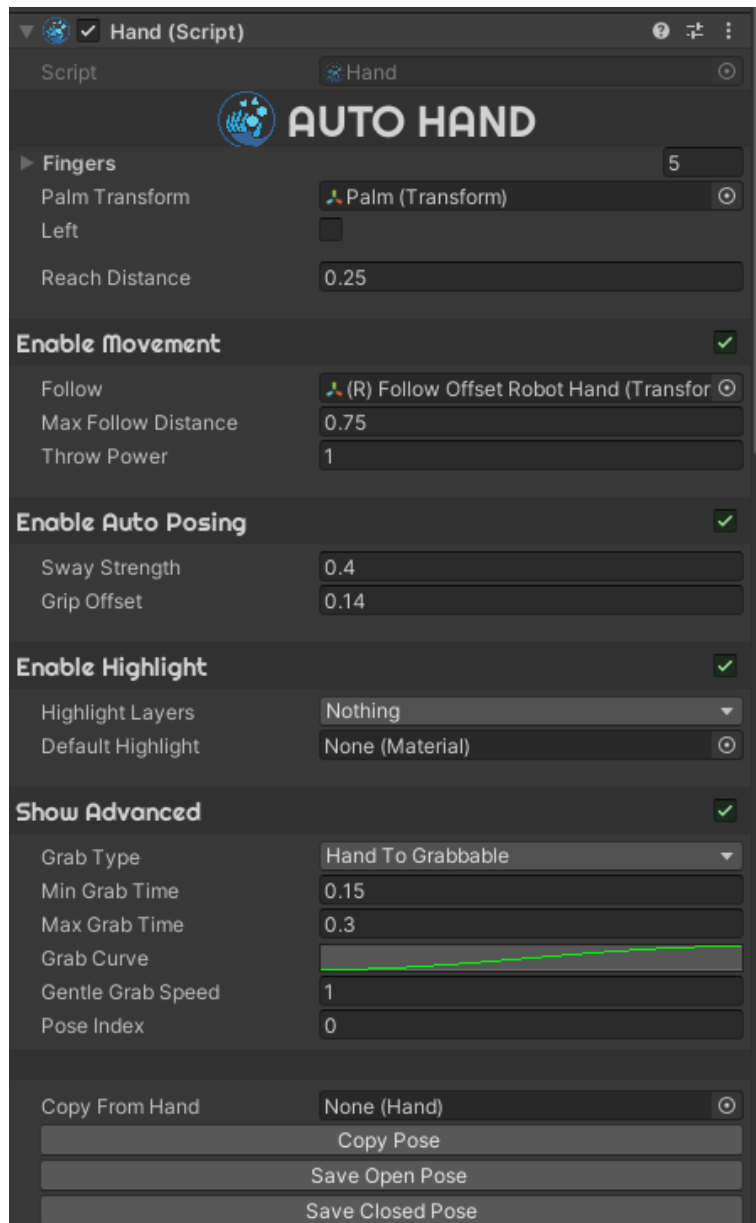
## 5.2. Virtualne ruke

Ruke su jako bitan dio simulacije. Kako bi osigurali pozitivno korisničko iskustvo važno je realistično prikazati pokrete ruku korisnika. Kako bi postigli željeni realizam, koristimo alate koje nam omogućuje Auto Hand. Isti nam omogućava dodavanje njihovog Player controllera, objekta koji dolazi s objektima robotskih ruku (Sl.5.2.). Robotske ruke na sebi imaju Hand skriptu (Sl.5.3.). Hand skripta je glavna komponenta Auto Hand sistema koja uz ostale skripte u paketu omogućuje hvatanje Rigid body objekata na realan način.



*Slika 5.2. Virtualne ruke prilikom simulacije*

Sve što je potrebno kako bi skripta radila je dodati Grabbable skriptu na objekte koje želimo uhvatiti. Korištenjem ovog alata znatno se poboljšao realizam cijele simulacije.

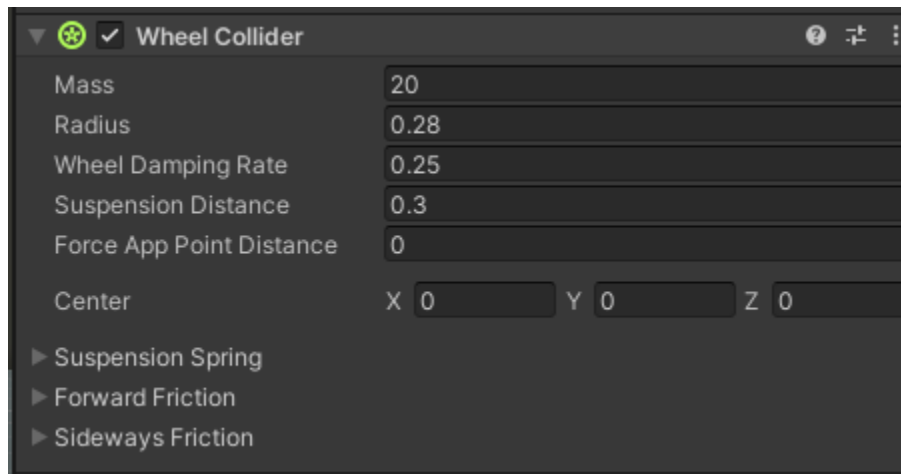


Slika 1.3. Auto Hand komponenta

### 5.3. Vožnja

Vožnja viličara izvedena je pomoću kotača. Radi se o integriranim Wheel transform i Wheel collider komponentama (Sl.5.4.).

Wheel collideri smješteni su oko Transform objekata i služe da pomoću integriranih fizikalnih funkcija Unityja pomiču viličara u smjeru u koji kotači gledaju.



Slika 5.4. Wheel Collider komponenta

Colliderima upravljamo pomoću C# skripte. Skripta ima komponente smjera, dodavanja sile na kotače, kočenja i skretanja (Kôd 5.1.). Najvažnija funkcija je HandleMotor funkcija.

```
private void HandleMotor ()
{
    frontLeftWheelCollider.motorTorque = verticalInput *
motorForce;

    frontRightWheelCollider.motorTorque = verticalInput *
motorForce;

    currentbreakForce = isBreaking ? breakForce : 0f;
    ApplyBreaking();
}
```

Kôd 5.1. HandleMotor funkcija

HandleMotor funkcija je ključna za kretanje viličara. Koristi promjenjivu varijablu motorForce i vertikalni ulazni signal kako bi prednjim kotačima pomicao viličara pre naprijed ako je motorForce pozitivan ili unatrag ako je negativan. Funkcija također provjerava stanje kočnice, ukoliko je kočnica stisnuta dodaje silu u obrnutom smjeru dok se viličar ne zaustavi.



## 5.4. Skretanje

Skretanje se vrši pomoću volana (SI.5.5.). Volan također ima Collider koji se može uzeti u virtualne ruke.



*Slika 5.5. Volan u simulaciji*

Skretanje viličara omogućuje skripta povezana na Hinge joint komponentu. Najvažniji dio skripte je GetValue funkcija (Kôd 5.2.), jer nam daje mogućnost očitavanja kuta volana.

```
public float GetValue() {  
    value = joint.angle / (joint.limits.max - joint.limits.min) *  
    2;  
    value = invertValue ? -value : value;  
    if (Mathf.Abs(value) < playRange) value = 0;  
    return Mathf.Clamp(value, -1, 1);  
}
```

*Kôd 5.2. GetValue funkcija*

Funkcija očitava kut pod kojim je volan okrenut te šalje vrijednost od -1 do 1 skripti koja upravlja vožnjom viličara, gdje -1 označava skretanje lijevo, a 1 desno.

```

private void HandleSteering()
{
    currentSteerAngle = maxSteerAngle * horizontalInput;
    frontLeftWheelCollider.steerAngle = currentSteerAngle;
    frontRightWheelCollider.steerAngle = currentSteerAngle;
}

```

*Kôd 5.3. HandleSteering funkcija*

Funkcija HandleSteering (Kôd 5.3.) pretvara GetValue vrijednost u kut te pomiče kotače u pravilnom smjeru.

## **5.5. Parking Kočnica**

Parking kočnicu bilo je relativno jednostavno implementirati. Za implementaciju zaustavljanje viličara te sprječavanje da se isti pokrene, koristio se Kinematic sistem koji Unity pruža. Kad tijelo nije kinematično na njega ne utječu vanjske sile poput gravitacije, sudaranje sa ostalim objektima i kretanje [11]. Parkirna kočnica jednostavno mijenja stanje tijela iz ne-kinematičnog, kad je poluga podignuta (Sl.5.6.), u kinematično kad je spuštena (Sl.5.7.). Viličar se ne može kretati dok god parking kočnica nije spuštena.



*Slika 5.6. Podignuta parking kočnica*



*Slika 5.7. Spuštena parking kočnica*

Nadalje, koristi se Hinge joint, komponenta koja povezuje dva kruta tijela tako da fiksira jedno tijelo za drugo. Fiksiranjem dva tijela simuliramo mehaničko ponašanje koje bi i očekivali od parkirne kočnice [12]. Pomoću skripte očitavamo kut poluge te palimo i gasimo kinematičnost viličara ovisno o tome na koliko stupnjeva je poluga postavljena.

## 5.6. Poluge za pomicanje vilice

S obzirom da pomicanjem vilice upravljamo s tri poluge (Sl.5.8.), moramo dodijeliti funkciju svakoj.



*Slika 5.8. Poluge za pomicanje vilice*

Poluga 1 služiti će za pomicanje vilice dolje kad je poluga podignuta gore, gore kad je poluga spuštена dolje. Poluga 2 će mijenjati nagib mehanizma za vilicu prema naprijed kada je podignuta gore, a unazad kada je spuštена. Poluga 3 pomicat će vilicu desno kad je gore, a lijevo kad je dolje. Ukoliko su poluge u početnom položaju, neće biti promjene u

poziciji vilice ili mehanizma. Kako bi pomicanje poluge utjecalo na poziciju vilice koristio se Hinge joint. Očitanjem kuta istog dodjeljujemo vrijednost pomaka u odnosu na kut poluge, ukoliko je kut neutralan u odnosu na početnu poziciju, vilica miruje. Ako je početni neutralni kut 0 stupnjeva, pomicanje poluge unaprijed se u Unityju očitava kao pozitivan kut, a unazad kao negativni. Ukoliko je vrijednost kuta pozitivna poluga će obavljati jednu funkciju, a ukoliko je negativna obavljat će drugu.

S obzirom da poluga 1 podiže i spušta vilicu, moramo osigurati da vilica ima maksimalnu vrijednost kako bi izbjegli da vilica ode previše visoko ili previše nisko. To osiguravamo sa sljedećom varijablom:

```
forkMaxDown = fork.transform.localPosition.y;
```

*Kôd 5.4. forkMaxDown varijabla*

Varijabla `forkMaxDown` (Kôd 5.4.) pamti početnu poziciju vilice koja je na najnižoj mogućoj razini na y osi, a označava pomicanje gore i dolje. Također, kako bi osigurali da vilica ne može otići previše daleko kada ju podižemo koristimo varijablu `forkMaxUp`:

```
[SerializeField, Range(0, 1)] private float forkMaxUp = 0.4f;
```

*Kôd 5.5. forkMaxUp varijabla*

Deklariranjem varijable `forkMaxUp` (Kôd 5.5.) na 0.4f zapravo podešavamo da se vilica može podići na maksimalno 40% svoje maksimalne visine. Nakon toga potrebna nam je varijabla `leverDeadZone` (Kôd 5.6.) koja osigurava da se vilica ne pomiče na minimalni dodir. Nju isto podešavamo na 40% maksimalnog pomaka:

```
[SerializeField, Range(0, 1)] private float leverDeadZone = 0.4f;
```

*Kód 5.6. leverDeadZone varijabla*

Nakon što su sve potrebne varijable podešene, provjera se vrši na sljedeći način:

```
void FixedUpdate ()
{
    var leverValue = lever.GetValue ();
    if (leverValue < -leverDeadZone)
    {
        if (fork.transform.localPosition.y <= forkMaxUp)
        {
            fork.transform.localPosition += Vector3.up *
            Time.deltaTime;

            chainMat.mainTextureOffset = new
            Vector2(chainMat.mainTextureOffset.x - Time.deltaTime,
            chainMat.mainTextureOffset.y);

            chainRollers.Rotate(Vector3.right * speed);
        }
    }
    if (leverValue > leverDeadZone)
    {
        if (fork.transform.localPosition.y >= forkMaxDown)
        {
            fork.transform.localPosition -= Vector3.up *
            Time.deltaTime;

            chainMat.mainTextureOffset = new
            Vector2(chainMat.mainTextureOffset.x + Time.deltaTime,
            chainMat.mainTextureOffset.y);

            chainRollers.Rotate(-Vector3.right * speed);
        }
    }
}
```

*Kód 5.7. FixedUpdate funkcija*

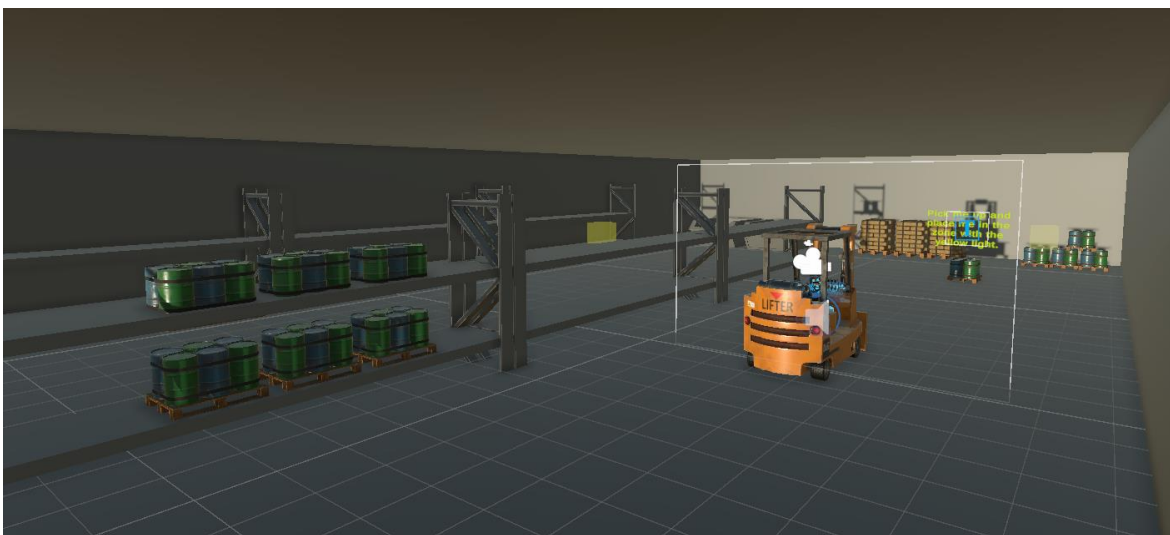
Ukoliko je poluga prešla 40% od svoje početne vrijednosti i vilica ne prelazi svoju maksimalnu vrijednost, a poluga je pomaknuta prema gore, pomičemo vilicu prema gore

uz animaciju pomicanja lanaca zbog vizualnog efekta. Funkcija također provjerava dali je poluga pomaknuta prema dolje te ukoliko nije na svojoj najnižoj mogućoj razini, pomičemo ju prema dolje uz animaciju pomicanja lanca (Kôd 5.7.).

Poluge 2 i 3 rade na isti način, jedina razlika je os koju provjeravamo i pomičemo.

## 5.7. Okolina

Kako bi vozača uronili u cijelo iskustvo potrebno je napraviti okolinu u kojoj će vozač imati zadatke kako bi znao da je uspješno obavio simulaciju. Kako bi to postigli, u virtualno okruženje postavljaju se police i objekti koje vozač može podići te se uz scenu dodaju i upute u obliku teksta kako bi vozač znao koji mu je zadatak. Na kraju, dodaju se prozirni objekti na koje vozač mora postaviti određene elemente kako bi uspješno prošao simuliranu obuku (Sl.5.9.).



*Slika 5.9. Model okoline u simulaciji*

## 5.8. Zadaci vozaču

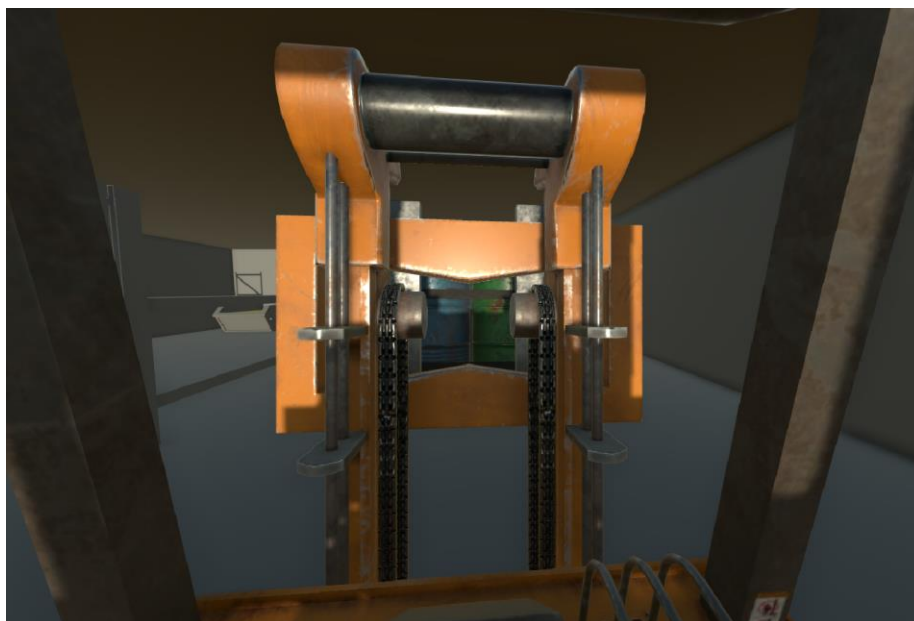
Kako bi vozač uspješno završio simulaciju, mora obaviti tri zadatka. Prvi zadatak je pomicanje označenog objekta na istaknutu lokaciju koju predstavlja žuta kocka na polici (Sl.5.10.).



*Slika 5.10. - Objekt koji vozač treba podići*

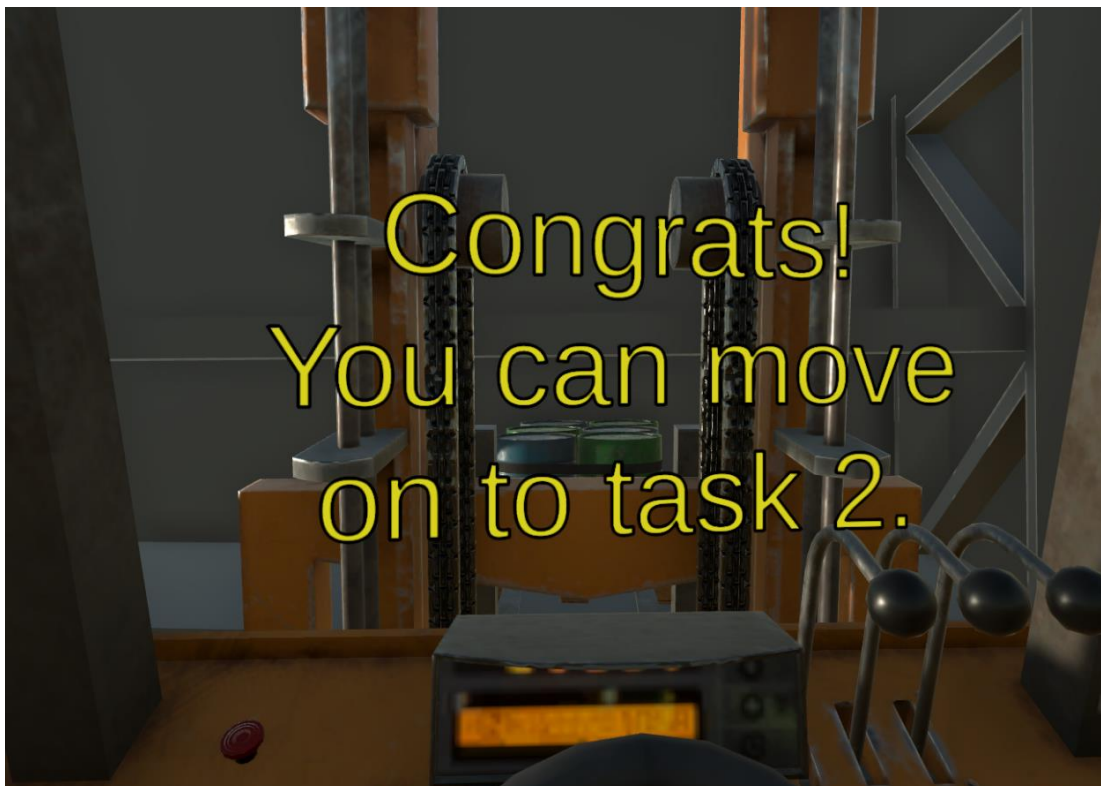
Nakon približavanja viličara objektu tekst nestane i vozač je spreman da teret prenese u prvi žuti kvadrat (Sl.5.11.).





*Slika 5.11. - Podignuti objekt*

Nakon što je objekt smješten u žuti kvadrat, ukoliko je objekt više od 50% u kvadratu počinje odbrojavanje te ukoliko objekt stoji u zoni 3 sekunde, zadatak se smatra uspješnim. Nakon što je zadatak uspješan vozaču se prikaže poruka kako bi znao da je zadatak obavljen, a žuti kvadrat nestaje (Sl.5.12.). Nakon uspješno obavljenog prvog zadatka vozač prelazi na drugi zadatak.

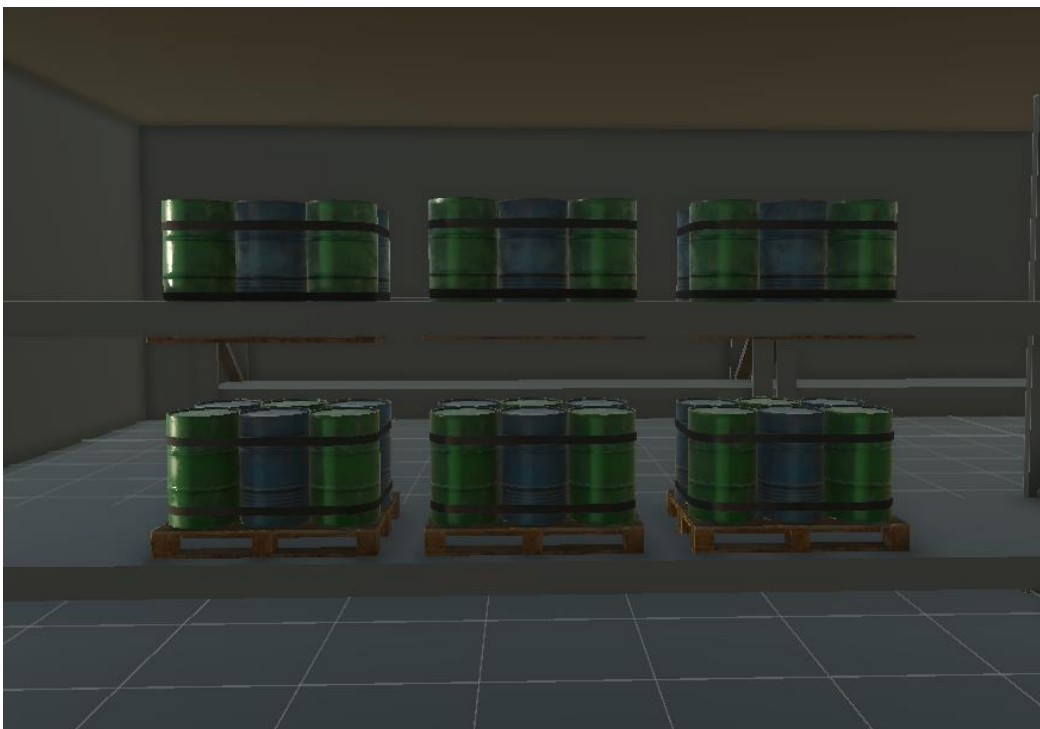


*Slika 5.12. - Uspješno smješten objekt*

Nakon obavljenog prvog zadatka pojavi se tekst (Sl.5.13.) koji usmjerava vozača prema bačvama koje mora podići (Sl.5.14.) te se pali žuti kvadrat na bačvama gdje se objekt treba ostaviti kako bi bio vidljiv vozaču (Sl.5.15.). U drugom zadatku vozač mora uzeti jednu od bačvi na polici i postaviti ju na složene bačve u kutu.



*Slika 5.13 - Pomoćni tekst zadatka 2*

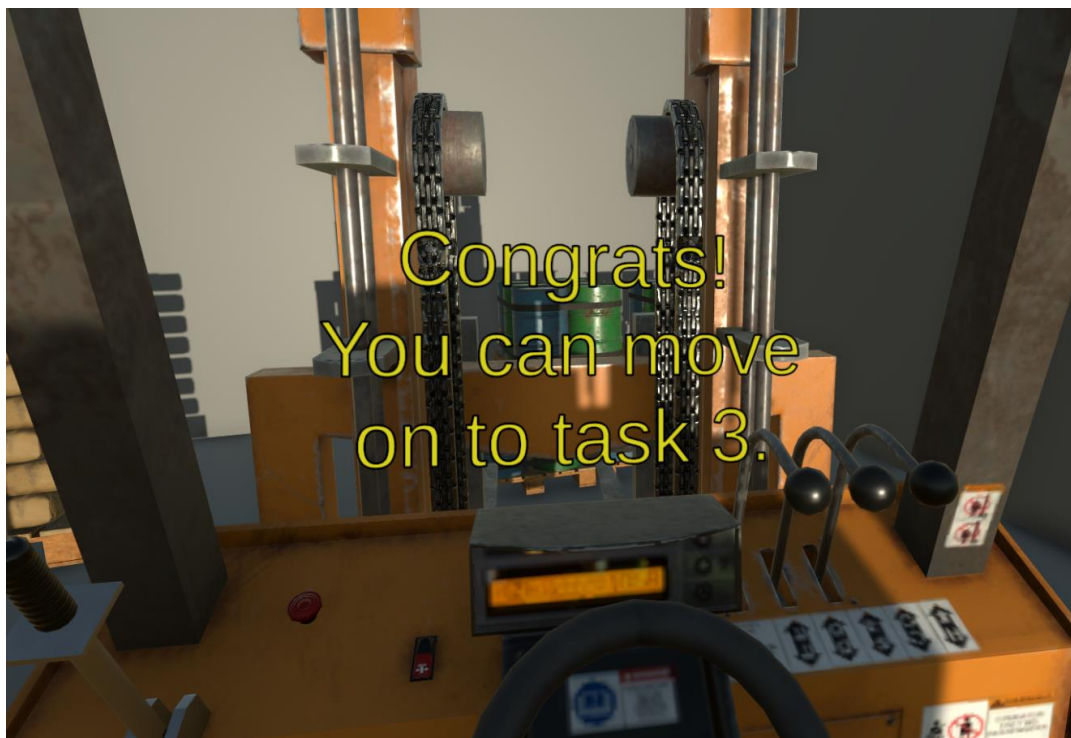


*Slika 5.14. - Objekti koje vozač treba pomaknuti*



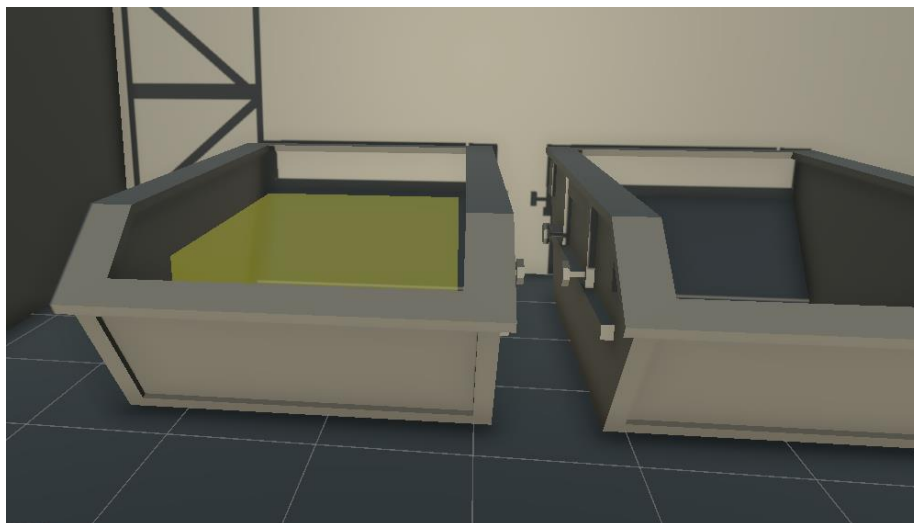
*Slika 5.15. - Mjesto gdje vozač treba spustiti jedan od objekata*

Nakon što je objekt smješten vozač će dobiti vizualnu poruku da je uspješno obavio zadatak (Sl.5.16.) te nakon toga može prijeći na zadatak 3.



*Slika 5.16 - Uspješno obavljen zadatak 2*

Treći zadatak je podignuti jednu od bačvi na polici iz prijašnjeg zadatka (Sl.5.14.) te ju ubaciti u kontejner (Sl.5.15.).



*Slika 5.15. - Mjesto gdje vozač treba odložiti jedan od objekata*

Nakon što je vozač uspješno obavio sva 3 zadatka, smatra se da je položio simulaciju. Za kraj, prikazuje se poruka koja čestita vozaču i govori mu da je uspješno položio trening (Sl.5.16.).



*Slika 5.16. - Uspješno obavljani svi zadaci*

## 6. ZAKLJUČAK

Simulator viličara pokazao se kao vrlo dobar način upoznavanja s osnovnim konceptima stvarne vožnje viličara. Virtualna stvarnost pruža brojne prednosti u odnosu na uobičajeni trening kao što su, prije svega, sigurnost, cijena i fleksibilnost. Osposobljavanjem radnika koristeći virtualnu stvarnost radnicima je omogućena sigurna i kontrolirana platforma za stjecanje iskustva i poboljšavanje radnih vještina. Implementacija samih funkcija vožnje bila je relativno jednostavna. Unity pruža brojne pogodnosti koje znatno olakšavaju proces programiranja kao i implementaciju pokretnih dijelova. Ipak, primjećuju se neki nedostaci kao što su pogrešna interakcija između rigid-body komponenti tijekom vožnje što se može pripisati kompleksnosti praćenja virtualnih fizičkih objekata dok se viličar kreće, ali uz dovoljno testiranja i popravaka, greška se lako ispravi. Unity također daje mogućnosti koje nisu ograničene kao fizički trening, u njemu možemo osobu pripremiti za brojne opasne situacije bez opasnosti od teških fizičkih ozljeda. Virtualnom vježbom osobu se čak može prilagoditi na novu okolinu prije nego što fizički upravlja strojem u istoj. Postoje beskrajne mogućnosti koje još nisu istražene, prema tome ovaj rad čvrsto zagovara da virtualna stvarnost ima potencijal pripremiti radnike na sigurniji, efikasniji i jeftiniji način.

## LITERATURA

- [1] K. Stecuła, "Review of Virtual Reality Applications Applied in Industrial Practice," Silesian University, 2023. [Online]. Dostupno na: <https://managementpapers.polsl.pl/wp-content/uploads/2024/01/187-Stecu%C5%82a.pdf> (pristupljeno: 7. rujna 2024.).
- [2] "Impact of Virtual Reality Cognitive and Motor Exercises on Brain," NCBI, Feb 25, 2023. [Online]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10002333/> (pristupljeno: 7. rujna 2024.).
- [3] S. Grassini and K. Laumann, "Evaluating the use of virtual reality in work safety: A literature review," Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference (ESREL 2020), 2020. [Online]. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/342364922\\_Evaluating\\_the\\_use\\_of\\_Virtual\\_Reality\\_in\\_Work\\_Safety\\_A\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/342364922_Evaluating_the_use_of_Virtual_Reality_in_Work_Safety_A_Literature_Review) (pristupljeno: 7. rujna 2024.).
- [4] Forklift-Simulator, "Forklift Simulator," <https://forklift-simulator.com/> (pristupljeno: 7. rujna 2024.).
- [5] Forklift Trader, "Prikaz CAT viličara" Forklift Trader, 2024. [Online]. Dostupno na: <https://forkliftrader.com> (pristupljeno: 13 September 2024).
- [6] U.S. Air Force, "Forklift vehicle management codes: E814 – E816, E819, E820, E822," U.S. Air Force. [https://static.e-publishing.af.mil/production/1/af\\_a4/publication/qtp24-3-e814/qtp24-3-e814.pdf](https://static.e-publishing.af.mil/production/1/af_a4/publication/qtp24-3-e814/qtp24-3-e814.pdf) (pristupljeno: 7. rujna 2024.).
- [7] V. Juránek, "Virtual reality toolkit for the Unity game engine," Bachelor's Thesis, Masaryk University, Faculty of Informatics, 2021.
- [8] Y. Wang, "A framework for developing network-based games using Unity," Universidad Politécnica de Madrid, 2017. [Online]. Dostupno na: oa.upm.es. (pristupljeno: 7. rujna 2024.).
- [9] Manufactura K4, "HQ Forklift Pack," Unity Asset Store. <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/industrial/hq-forklift-pack-87429> (pristupljeno: 8. rujna 2024.).

[10] Unity Technologies, "Auto Hand - VR interaction," Unity Asset Store.  
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/game-toolkits/auto-hand-vr-interaction-165323>  
(pristupljeno: 8. rujna 2024.).

[11] Game Dev Beginner, "How to jump in Unity (with or without physics)," Game Dev Beginner, 19. kolovoza 2021. [Online]. Dostupno na: <https://gamedevbeginner.com/how-to-jump-in-unity-with-or-without-physics/>. (pristupljeno: 8. rujna 2024.).

[12] Web Mobile and Game Development Forum, "Hinge joint and fixed joint in Unity3D," [Online]. Dostupno na: <https://webmobileandgamedevelopmentforum.weebly.com/hinge-joint-and-fixed-joint-in-unity3d.html> (pristupljeno: 8. rujna 2024.).



## SAŽETAK

**Naslov:** Simulator viličara u virtualnoj stvarnosti

U ovom radu, prvo poglavlje uvodi temu i objašnjava osnovne pojmove simulacije vožnje viličara u virtualnoj stvarnosti. U drugom poglavlju prikazan je pregled primjene virtualne stvarnosti, posebno u obuci radnika u sigurnom okruženju. Treće poglavlje opisuje glavne dijelove simulacije poput vožnje, skretanja, upravljanja vilicom i interakcije s okolinom. Četvrto poglavlje bavi se izborom softvera i alata potrebnih za razvoj simulacije u Unity okruženju. U petom poglavlju razrađena je implementacija simulacije, s naglaskom na glavne funkcije upravljanja i interakcije. Na kraju, šesto poglavlje donosi zaključke o prednostima virtualne stvarnosti u obuci radnika i njezinoj primjeni u raznim industrijama.

**Ključne riječi:** obuka radnika, sigurnost na radu, simulator viličara, Unity, virtualna stvarnost

## **ABSTRACT**

**Title:** Forklift simulator in virtual reality

This paper starts with an introduction to the topic, explaining the basic concepts of forklift driving simulation in virtual reality. The second chapter provides an overview of how virtual reality is used, especially for training workers in a safe environment. The third chapter describes the main components of the simulation, including driving, steering, fork control, and interaction with the surroundings. The fourth chapter covers the selection of software tools needed to develop the simulation in Unity. In the fifth chapter, the implementation of the simulation is discussed, focusing on key control and interaction functions. Finally, the sixth chapter provides conclusions on the benefits of virtual reality for worker training and its potential applications in different industries.

**Keywords:** forklift simulator, Unity, virtual reality, work safety, worker training