



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ



**Александар М. Јовановић**

**ВИРТУЕЛНО КОЛАБОРАТИВНО  
ОКРУЖЕЊЕ ЗА УЧЕЊЕ НА ДАЉИНУ  
ЗАСНОВАНО НА ГЕЈМИФИКАЦИЈИ И  
БЛОКЧЕЈН ТЕХНОЛОГИЈАМА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ниш, 2023.



UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING



**Aleksandar M. Jovanović**

**VIRTUAL COLLABORATIVE  
ENVIRONMENT FOR DISTANCE  
LEARNING BASED ON GAMIFICATION  
AND BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES**

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2023.

# ЗАХВАЛНИЦА

Захваљујем се свима који су помогли израду ове докторске дисертације, а посебно мом ментору проф. др Александру Милосављевићу, који већ дуги низ година прати мој развој и усмерава истраживања са новим идејама.

На крају, желим да се најтоплије захвалим члановима своје породице, родитељима Иванки и Миодрагу, и сестри Сандри на безрезервној подршци, разумевању, поверењу и охрабрењу да истрајем у донетим одлукама током студија.

Аутор

## Подаци о докторској дисертацији

Ментор:	др Александар Милосављевић, редовни професор, Електронски факултет, Универзитет у Нишу
Наслов:	Виртуелно колаборативно окружење за учење на даљину засновано на гејмификацији и блокчејн технологијама
Резиме:	<p>Виртуелна колаборативна окружења су виртуелни светови који пружају виртуелни простор за друштвене сусрете, као што су организација конференција или семинара, видео игре за више играча, обуке за запослене итд. Уколико се примењују у контексту учења онда их зовемо виртуелна окружења за учење.</p> <p>Предмет истраживања је примена виртуелно колаборативних окружења за подршку учењу. Циљ дисертације је пројектовање и развој виртуелног колаборативног окружења за подршку учењу на даљину коришћењем гејмификације и блокчејн технологија. Гејмификација обезбеђује учење кроз игру коришћењем интерактивног 3Д садржаја, док се блокчејн користи због транспарентности система и мотивације корисника.</p> <p>Коришћењем предложених научних метода и софтверских захтева, утврђено је које могућности предложено решење доноси у односу на слична решења, као и које аспекте побољшава током учења на даљину. Верификација и потврда ефикасности система је извршена помоћу имплементираних прототипа виртуелно колаборативног окружења, кроз тестирање са корисницима.</p>
Научна област:	Електротехничко и рачунарско инжењерство
Научна дисциплина:	Рачунарство и информатика
Кључне речи:	виртуелни светови; е-образовање; метаверзум; блокчејн; архитектура софтвера; виртуелно окружење за учење; виртуелна реалност; гејмификација.
UDK:	004
CERIF класификација:	T 120
Тип лиценце Креативне заједнице:	CC BY-NC

## Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor:	dr Aleksandar Milosavljević, full professor, University of Niš, Faculty of Electronic Engineering
Title:	Virtual collaborative environment for distance learning based on gamification and blockchain technologies
Abstract:	<p>Virtual collaborative environments (VCE) are virtual worlds that provide a virtual space for social encounters, such as the organization of conferences or seminars, multiplayer video games, employee training, etc. If they are applied in a learning context, then we call them virtual learning environments (VLE).</p> <p>The subject of the research is the application of a Virtual Collaborative Environment as a tool to support learning. The aim of this dissertation is to design and develop VCE to support distance learning using gamification and blockchain technologies. Gamification provides in-game learning using interactive 3D content, while blockchain is used for system transparency and user motivation.</p> <p>By using the proposed scientific methods and software requirements, it was determined which possibilities the proposed solution brings in relation to similar solutions, as well as which aspects it improves during distance learning. The system was verified using an implemented prototype of the virtual collaborative environment, through testing with users.</p>
Scientific Field:	Electrical and Computer Engineering
Scientific Discipline:	Computer Science
Key Words:	virtual worlds; e-learning; metaverse; blockchain; software architecture; virtual learning environment; virtual reality; gamification.
UDC:	004
CERIF Classification:	T 120
Creative Commons License Type:	<b>CC BY-NC</b>

# Садржај

Списак слика.....	ix
Списак табела .....	x
1. Увод.....	1
1.1 Предмет истраживања .....	1
1.2 Циљ истраживања .....	5
1.3 Метод истраживања .....	6
1.4 Допринос резултата истраживања .....	7
1.5 Структура рада .....	8
2. Виртуелни светови .....	10
2.1 Технологије виртуелне реалности .....	10
2.1.1 Google Cardboard .....	16
2.1.2 Meta Quest .....	16
2.1.3 Playstation VR (PSVR).....	17
2.1.4 Vive Pro и Valve Index уређаји .....	18
2.1.5 Остали уређаји.....	18
2.1.6 Окружења за развој .....	19
2.1.7 Најбоље праксе и стандарди .....	21
2.1.8 Хаптички уређаји .....	23
2.2 Врсте виртуелних светова .....	25
2.2.1 Друштвени виртуелни светови .....	29
2.2.2 Видео игре за више играча .....	33
2.3 Примена виртуелних светова .....	34
2.3.1 Научно-истраживачки радови.....	34
2.3.2 Медицинске апликације.....	38
2.3.3 Примене у роботизици .....	39
2.3.4 Примене у образовању.....	41
2.4 Виртуелна окружења за сарадњу .....	42
2.4.1 Постојећи резултати примене колаборативних окружења у Републици Србији50	
2.5 Гејмификација .....	52
3. Блокчејн технологије .....	56
3.1 Типови блокчејн технологија.....	58
3.1.1 Јавни блокчејн .....	59
3.1.2 Пословни блокчејн .....	60

3.2	Питања скалабилности и безбедност .....	62
3.3	Складиштење података .....	64
3.4	Веб 3.0 .....	68
3.4.1	Веб 3.0 концепти .....	69
3.4.2	Примери Веб 3.0 апликација .....	71
3.4.3	Веб 3.0 проблеми .....	72
3.5	Примена блокчејн технологија .....	73
3.5.1	Примена у економији .....	73
3.5.2	Примена у образовању .....	75
3.5.3	Примена у индустрији забаве .....	75
3.5.4	Дигиталне некретнине .....	80
3.5	Метаверзум концепт .....	82
3.5.1	Изазови у метаверзуму .....	85
4.	Развој колаборативних виртуелних окружења .....	87
4.1	Развој иновација .....	87
4.1.1	Експериментисање .....	88
4.1.2	Експериментисање .....	89
4.1.3	Процењивање .....	90
4.1.4	Модел развоја корисника .....	91
4.1.5	Агилни развој софтвера .....	93
4.1.6	Концепт отворене иновације .....	94
4.2	Захтеви за развој виртуелног света за образовање .....	94
4.3	Карактеристике озбиљних игара .....	97
4.4	Дизајн виртуелних светова .....	103
4.4.1	Дизајн виртуелног света за образовање .....	106
4.4.2	Дигитални двојници .....	108
4.4.3	Фотограметрија .....	111
5.	Предлог платформе и имплементација прототипа .....	114
5.1	Архитектура решења .....	116
5.1.1	Виртуелно окружење за учење .....	116
5.1.2	Више платформска подршка .....	118
5.1.3	Умрежавање .....	119
5.1.4	Ресурси за учење унутар виртуелног окружења .....	119
5.2	Компоненте за гејмификацију .....	121
5.2.1	Веб платформа .....	122

5.2.2 Контрола приступа.....	123
5.2.3 Микролекције .....	124
5.2.4 Интелигентни агенти .....	126
5.3 Блокчејн компонента .....	128
5.3.1 Награђивање корисника унутар виртуелног окружења помоћу гејмификације и блокчејн технологија.....	129
5.3.2 Развој децентрализоване апликације.....	131
5.3.3 Регулација ресурса између корисника виртуелног окружења коришћењем блокчејн технологија.....	137
6. Евалуација платформе .....	140
6.1 Метода евалуације технологије .....	140
6.2 Анализа корисничког искуства.....	146
6.2.1 Очекиван напор .....	147
6.2.2 Друштвени утицај .....	148
6.2.3 Олакшавајући услови.....	148
6.2.4 Хедонистичка мотивација .....	149
6.2.5 Навике .....	149
6.2.6 Намера .....	150
6.2.7 Став.....	150
6.3 Утицај платформе на кориснике.....	151
7. Закључак .....	159
7.1 Резиме истраживања .....	159
7.2 Резултати истраживања и допринос дисертације.....	160
7.3 Правци даљег истраживања .....	163
Литература.....	166
Списак објављених радова аутора.....	192
Биографија аутора.....	193
ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ .....	194
ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ И ШТАМПАНОГ ОБЛИКА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ .....	195
ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ.....	196



## Списак слика

Сл. 2.1 Пример виртуелног света са аватарима корисника.....	10
Сл. 2.2.1 Сенсорама, 1962. (преузето из [34]).....	12
Сл. 2.2.2 Дамоклов мач (енгл. <i>The Sword of Damocles</i> ), 1987. (преузето из [35]).....	12
Сл. 2.2.3 Приказ технологија виртуелне и проширене реалности (Милграмов континуум). (преузето из [41]).....	13
Сл. 2.2.5.1 Софтверске компоненте алата за развој игара. (преузето из [93]).....	21
Сл. 2.2.7.1 Хаптички уређаји. (преузето из [94]).....	24
Сл. 2.2.7.2 Teslasuit. (преузето из [95]).....	25
Сл. 2.3.1 Умрежено виртуелно окружење. (преузето из [98]).....	26
Сл. 2.3.1.1 Окружење унутар High Fidelity платформе.....	33
Сл. 2.3.1.2 Корисници унутар Sansar платформе.....	33
Сл. 2.4.3.1 Робот за учење на даљину.....	40
Сл. 2.5.1 VR симулатор за пешачење. (преузето из [151]).....	47
Сл. 2.5.2 IVRS. (преузето из [152]).....	48
Сл. 2.5.3 Апликација чаробњака са два сценарија, рођенданска забава (а) и час у школи (б). (преузето из [152]).....	48
Сл. 2.5.4 Безбедност на улици, изглед апликације за подучавање деце. (преузето из [153]).....	49
Сл. 2.5.5 Окружење за образовање наставника. (преузето из [154]).....	50
Сл. 2.6.1 Игра „IF...”, пример учења нових вештине за успешно обављен задатак. (преузето из [162]).....	55
Сл. 3.1 Компоненте блокчејн система (преузето из [169]).....	57
Сл. 3.2.1 Децентрализовани слој идентитета.....	64
Сл. 3.3.1 Децентрализована инфраструктура помоћу ChainLink-а.....	65
Сл. 4.4.2.1 Дигитални двојници индустријских машина.....	109
Сл. 4.2.2.2 Дигитални двојник аутомобила.....	109
Сл. 4.4.3.1 Скенирање лица помоћу фотограметрије.....	113
Сл. 5.1 Софтверска архитектура решења.....	115
Сл. 5.1.1 Архитектура решења вишег нивоа заснована на слојевима.....	117
Сл. 5.1.2 Архитектура решења вишег нивоа заснована на компонентама.....	118
Сл. 5.1.4.1 Виртуелно окружење ( <i>Windows</i> десктоп, перспектива из првог лица).....	120
Сл. 5.1.4.2 Виртуелно окружење ( <i>Windows</i> десктоп, перспектива трећег лица).....	121
Сл. 5.1.4.3 Виртуелна учионица (VR приказ).....	121
Сл. 5.2.1.1 Дизајн веб платформе.....	123
Сл. 5.2.3.1 Виртуелна учионица.....	125
Сл. 5.2.3.2 Виртуелни парк.....	126
Сл. 5.2.3.3 Виртуелни град.....	126
Сл. 5.2.4.1 Дизајн компоненте за интеграцију интелигентних агената.....	128
Сл. 5.2.4.2 Професор VoRtex унутар виртуелног окружења (VR поглед).....	128
Сл. 5.3.1.1 UML дијаграм класа интерактивних објеката.....	130
Сл. 5.3.1.2 Кориснички интерфејс за VRC токене.....	131
Сл. 5.3.1.3 Процес стицања токена кроз UML дијаграм случаја.....	131
Сл. 5.3.2.1 Економија <i>Free-To-Play</i> модела.....	132
Сл. 5.3.2.2 Децентрализована економија игара.....	133

Сл. 5.3.2.3 Процес стварања децентрализоване економије игара.....	134
Сл. 5.3.2.4. Подешавање адресе нове криптовалуте. ....	136
Сл. 5.3.3.1. Извоз дигиталних објеката (сертификат) кроз блокчејн мрежу.....	139
Сл. 6.3.1 Резултати теста из извештаја. Занимања учесника анкете. ....	153
Сл. 6.3.2 Резултати теста из извештаја. Претходно искуство учесника.....	153
Сл. 6.3.3 Резултати теста из извештаја. Примена виртуелних светова у образовању. ....	154
Сл. 6.3.4 Резултати теста из извештаја. Разумевање платформе. ....	154
Сл. 6.3.5 Резултати теста из извештаја. Корисничко искуство засновано на студији случаја. ....	155
Сл. 6.3.6 Резултати теста из извештаја. Метрика о функцијама унутар решења. ....	155
Сл. 6.3.7 Резултати теста из извештаја. Искуство интеракције унутар виртуелног окружења.....	156
Сл. 6.3.8 Резултати теста из извештаја. Алат за решавање проблема. ....	156
Сл. 6.3.9 Резултати теста из извештаја. Следећа примена решења. ....	157

## Списак табела

Табела 6.1.1 Манијенова матрица поређења за релевантну вредност.....	142
Табела 6.1.2 Сумирање свих фактора.....	144

## 1. Увод

### 1.1 Предмет истраживања

Виртуелна колаборативна окружења (ВКО) постају све популарнији облик сарадње у виртуелним световима. ВКО платформе пружају корисницима могућност да граде виртуелне светове који могу да симулирају искуства из стварног живота кроз различите друштвене активности. Током Ковид 19 пандемије [1], многе образовне институције су биле затворене, а потражња за решењима за учење на даљину је порасла, где спадају и ВКО решења. ВКО су виртуелни светови који пружају активности за сарадњу кроз изградњу заједнице унутар виртуелног простора. Промене у образовном процесу и њихова динамика, као и појава нових информационо-комуникационих технологија као што су виртуелна реалност представљају нове захтеве за е-образовање (учење на даљину) [1]. Систем мора да пружи могућност брзог и једноставног увођења нових образовних садржаја и квалитетну реализацију образовног процеса прилагођеног потребама студената и наставника.

Током година, људи су користили различите технологије да прилагоде образовање савременим медијумима. Учење на даљину помоћу персоналних рачунара и мобилних уређаја постало је веома популарно у последњих неколико година. Такође, појављују се нови медијуми које можемо да користимо за учење као што су виртуелни светови (ВС) и уређаји виртуелне реалности (ВР). ВС можемо дефинисати на следећи начин: „Симулирани постојани простор заснован на интеракцији са рачунаром, настањен са неколико корисника, који су представљени виртуелним двојницима (аватарима), који могу да комуницирају једни са другима на синхронизован начин“ [2]. Виртуелни свет интегрише неколико технологија у једно решење, као што су текстуална и гласовна размена порука, размена виртуелног садржаја (3Д модела), и виртуелне репрезентације за људе. Сходно томе, виртуелни светови се могу дефинисати као напредна верзија Интернета у којој корисници могу да комуницирају коришћењем својих виртуелних 3Д репрезентација, тј. виртуелних двојника. За прављење виртуелних светова, можемо

користити оквири за развој софтвера као што су алати за развој интерактивних 3Д игара. Алати за развој интерактивних видео игара обезбеђују основне градивне делове као што су симулација физике и управљање објектима коришћењем програмских скрипти. ВР је технологија која ставља корисника унутар виртуелног окружења тако да се ствара осећај да је корисник заиста тамо или осећај имерзије (енгл. *immersion*) [3], [4]. ВР се данас најчешће доживљава помоћу два људска чула, вида и слуха. Пример виртуелне реалности је 3Д сцена коју можемо истраживати на одговарајућем рачунарском медијуму (конзола за играње видео игара, персонални рачунар или паметан телефон) коришћењем контролера (миш, тастатура или гејмпад) или сензора покрета. Префињенији начин је коришћење преносног ВР уређаја монтираног на глави који контролишемо покретима тела. Врсте апликација које се углавном развијају за ове уређаје су видео игре и симулације [5]. Такође, за пројектовање висококвалитетног софтвера заснованог на рачунарској графици, током развоја ВР апликација требало би да следимо најбоље праксе и стандарде у погледу дизајна корисничког искуства и оптимизације софтвера [6] како би корисницима омогућили имерзивно искуство унутар виртуелног света [7]. Због ових предности, виртуелни светови у последњој деценији постају све шире заступљени у најразличитијим могућим областима, од интерактивних 3Д видео игара, до продаје виртуелног садржаја и дељења радног простора [8].

Виртуелна колаборативна окружења [9] су виртуелни светови који пружају виртуелни простор за друштвене сусрете, као што су нпр. организација конференција или семинара. Примери ВКО укључују игре за више играча, интерактивну уметност, обуке за раднике, виртуелна окружења за учење (ВОУ), шетње кроз виртуелне локалитете, итд. Уколико се примењују у контексту учења онда их зовемо виртуелна окружења за учење (ВОУ). ВОУ решења могу понудити многе функције ученицима којима је потребна подршка у процесу учења [10]. Како би направили ВОУ решење за потребе учења у одређеним доменима образовања, потребно је да ствараоци садржаја (енгл. *content creators*) разумеју потребе корисника, могућности ВОУ решења, као и да поседују одговарајућу платформу за развој.

Предмет истраживања ове докторске дисертације је софтверска архитектура решења и имплементација ВОУ решења са елементима гејмификације, тј. учења кроз игру. Гејмификација је метод који обезбеђује ефикасан начин учења у контексту ангажовања и мотивације учесника коришћењем елемената дизајна видео игара, као што су достигнућа, нивои, ранг листе, и решавање проблема [11]. Такође, додавањем гејмификације унутар ВОУ решења можемо да омогућимо учење кроз игру где учесници током виртуелне сесије решавају задатке и сарађују са другим учесницима коришћењем виртуелних двојника (аватара) [12]. Идентитети виртуелних двојника или власништво виртуелног садржаја се могу заштитити помоћу система базираних на блокчејну [13]. Блокчејн је децентрализовани систем у коме податке није могуће мењати већ је свака промена видљива између више повезаних рачунара. Блокчејн систем може бити отворен или са дозволама. Блокчејн концепт са дозволама можемо применити у образовном сектору где би дозволе регулисао конзорцијум који предводи систем са циљем да се обезбеди безбедност података. Коришћењем блокчејн решења можемо омогућити транспарентност између корисника (ученици и аутори садржаја) и мотивисати кориснике да стварају садржај за ВОУ тако што ће добити одређену количину токена криптовалуте за своје ангажовање [14]. На основу наведених способности спој блокчејна и виртуелних светова можемо видети кроз различите примене у индустрији (некретнине, производња, роботика, итд.) и можемо описати кроз концепт метаверзума [15]. Међутим, доступна решења су углавном усмерена на индустрију забаве, али не толико и на ВОУ системе. Увођењем гејмификације унутар ВКО за учење, где је могућа сарадња између више корисника (дигиталних двојника), могуће је остварити одређене погодности за спровођење образовних активности, али и да целокупно корисничко искуство учинимо ефективнијим, ослањајући се притом на персоналне рачунаре или ВР уређаје [8].

ВКО интегрише неколико технологија у једну платформу, која укључује: аудио, видео, текстуално и гласовно ћаскање, 3Д виртуелна окружења и дигиталне аватаре. За стварање ВКО решења, можемо користити алате за развој софтвера као што су алати за развој игара (енгл. *game engine*). Алати за развој игара обезбеђују основне градивне блокове као што су рендеровање окружења, манипулација објектима, писање функција и друго [16]. Примери ВОУ решења који се могу

направити помоћу алата за развој видео игара су образовне игре за више играча (енгл. *party games*), интерактивна уметност, симулације, архитектонске шетње кроз културно наслеђе, итд. ВОУ решења могу понудити многе функције ученицима којима је потребна подршка у процесу учења [17]. У озбиљном домену игара и гејмификације (енгл. *serious games*), постоје иницијативе за повезивање са системима као што су масивни отворени курсеви [18]. Гејмификација је метод који обезбеђује ефикасан слој учења у контексту ангажовања и мотивације [19]. Такође, ВОУ решења би могла да обезбеде још један начин за превазилажење граница учења на даљину уз додавање нове димензије у којој можемо да шетамо и комуницирамо унутар 3Д простора [20].

У тези је представљена иновативна ВКО платформа која пружа помоћне алате за изградњу образовних искустава у виртуелним световима. Представљена софтверска архитектура и дизајн високог нивоа је иновативна ВКО платформа првенствено дизајнирана да подржи колаборативне активности учења у комбинацији са виртуелним окружењима. Такође, дизајн решења подржава образовне стандарде учења на даљину. Решење је развијено коришћењем савремених технологија и метаверзум концепата кроз гејмификацију и блокчејн технологије. Након развоја прототипа спроведена је компаративна анализа имплементираних ВКО прототипа за потребе тезе и других ВКО платформи сличног дизајна које је могуће преузети бесплатно. Затим, на основу поређења, рађена је процена потенцијала за примену одабране платформе за учење на даљину. Након тога, платформа се тестира са самим корисницима кроз интерактивну демонстрацију унутар ВКО платформе. Током демонстрације корисници треба да идентификују главне предности између ВКО платформе и учионице из стварног света. Колаборативно окружење за подршку учењу на даљину користиће елементе гејмификације и блокчејн технологија. Примена гејмификације је приказана кроз коришће интерактивног 3Д садржаја, док се блокчејн користи због мотивације корисника да имају веће ангажовање на самој платформи. Коришћењем предложених научних метода, а на основу захтева, утврђено је које то могућности предложено решење доноси у односу на слична решења, као и које аспекте може унапредити током учења на даљину. Верификација и потврда ефикасности система је извршена помоћу имплементираних прототипа виртуелно колаборативног

окружења, кроз тестирање са корисницима који имају искуства у доменима образовања. Под искуством подразумевамо ефикасну комуникацију, компетентност у пракси, правилно коришћење инжењерских техника, као и релевантних алата и програма, вештине интерперсоналног и тимског рад као и вештине решавања проблема.

## 1.2 Циљ истраживања

Генерални циљ истраживања докторске дисертације је предлог архитектуре и имплементација ВОУ решења које укључује виртуелну учионицу са уграђеним елементима гејмификације и блокчејна. Поред предлога архитектуре и имплементације ВОУ решења, уређена је анализа других доступних ВКО решења и корисничког искуства у домену образовања где се захтева од учесника да кроз практичан рад обаве одређени задатак.

За реализацију наведеног циља, најпре је истражена примена и карактеристике постојећих ВКО решења. Прво су анализирани радови из области ВКО система. Значајан број научних резултата указује да примена ВКО решења пружа одређене погодности, али и убрзава и чини целокупно корисничко искуство ефективнијим, ослањајући се притом на ВР уређаје или персоналне рачунаре [21], [22]. Затим је описана примена ВКО решења унутар различитих домена као што су помоћ људима са аутизмом, видео игре и друштвене мреже [8], [23]. Након тога је предложена архитектура ВКО решења за учење на даљину. Предложена архитектура софтвера укључује аутентификацију корисника у виртуелном окружењу, подршку за виртуелне двојнике, систем за праћење лекција и мрежни систем за комуникацију између корисника, и имплементирана је кроз интерно развијен ВОУ прототип (енгл. *proof of concept*). ВОУ прототип омогућава праћење наставе унутар виртуелне учионице помоћу презентације, видео записа и кроз директну комуникацију са учесницима. Елементи гејмификације су достигнућа и напредак корисника, сарадња, овладавање вештинама, стратегија решавања проблема и циљеви. Елементи блокчејна су децентрализована инфраструктура, транспарентност система и новчаник за чување токена и мотивација корисника. За

потребе поређења развијеног ВОУ решења са сличним јавно доступним решењима, користимо Маниен матрицу [24]. Коришћењем Маниен матрице поредимо карактеристике решења кроз захтеве дефинисане од стране образовног система [25]. Такође, приказана је анализа корисничког искуства интерно развијеног ВОУ решења са корисницима из сфере образовања. Након тестирања, на основу резултата корисничког искуства, урађена је евалуација развијеног ВОУ решења.

Један од главних циљева докторске дисертације је био да се покаже које могућности пружају ВОУ решења крајњим корисницима, осим што доноси нове могућности у учењу на даљину, значајно побољшава поједине аспекте, а истовремено и убрзава поједине комплексне задатке корисницима ВОУ решења. Показано је да примена гејмификованог приступа доводи до побољшања више аспеката у образовању као и да интеграција блокчејн технологије омогућава корисницима да буду мотивисани да уче и да креирају садржај за учење при чему за своја достигнућа могу бити награђени токенима.

### 1.3 Метод истраживања

У циљу израде предложене докторске дисертације коришћене су различите истраживачке методе које треба да омогуће испуњавање задатих циљева докторске дисертације, а које су описане у следећим корацима:

- Увођење основних појмова и увођење полазних поставки на којима се рад темељи.
- Анализа доступне литературе из области виртуелних колаборативних окружења.
- Анализа доступних виртуелних колаборативних окружења и њихових карактеристика у погледу могућности за гејмификацију и интеграцију блокчејн технологије.
- Дефинисање архитектуре и имплементација прототипа виртуелног колаборативног окружења.



- Истраживање засновано на експерименталном раду са имплементираним прототипом и различитим јавно доступним виртуелним колаборативним решењима над којима је коришћен скуп истраживачких метода помоћу Маниенове матрице који треба да омогуће реализацију експеримената.
- Испитивање утицаја на учење применом имплементираног прототипа виртуелно колаборативног окружења коришћењем анкете и интервјуа са корисницима.

#### 1.4 Допринос резултата истраживања

Истраживање је довело до резултата које можемо груписати у неколико категорија:

- Преглед и анализа технологија за развој виртуелних колаборативних окружења.
- Преглед и анализа постојећих виртуелних колаборативних окружења.
- Предлог спецификације и архитектуре виртуелног колаборативног окружења за подршку учењу заснованог на гејмификацији и блокчејн технологијама.
- Имплементација прототипа виртуелног колаборативног окружења за сарадњу више корисника унутар заједничког простора.
- Предлог и имплементација ресурса за учење унутар виртуелног окружења.
- Предлог система регулације ресурса између корисника виртуелног окружења коришћењем блокчејн технологија.
- Предлог система за награђивање корисника унутар виртуелног окружења помоћу гејмификације и блокчејн технологија.
- Предлог система заштите идентитета корисника унутар виртуелног окружења.

- Предлог метода за развој 3Д симулација за подршку држању наставе унутар виртуелног колаборативног окружења коришћењем гејмификације и технологија виртуелне реалности.
- Упоредна анализа ефикасности, заснована на експерименталном раду са виртуелним колаборативним окружењима, коришћењем захтева за учење на даљину и Маниен матрице за поређење карактеристика решења.
- Преглед и евалуација корисничког искуства унутар анализираних виртуелних колаборативних окружења.

## 1.5 Структура рада

Рад је организован кроз седам поглавља. Прво поглавље је увод, где су представљени основни појмови и дефиниције о виртуелним окружењима, гејмификацији и блокчејн технологијама.

Друго поглавље описује виртуелне светове кроз преглед радова и примере решења у различитим доменима индустрије. Затим, биће речи о виртуелној реалности и гејмификацији, као и о њеној примени унутар колаборативних окружења.

Треће поглавље описује блокчејн и Веб 3.0 технологије као и о њихову примени у различитим доменима индустрије. Биће представљени типови блокчејн мрежа и њихове предности и мане. Затим ће бити представљен концепт метаверзума и веза између виртуелног окружења и блокчејна.

У четвртном поглављу описаћемо процес развоја иновативних решења и методологије развоја. Затим ће бити описани захтеви за развој ВОУ решења, као и основни елементи који чине виртуелни свет.

У петом поглављу представљамо софтверску архитектуру за колаборативно учење на даљину имплементирану кроз ВОУ прототип. Софтверска архитектура је основа за израду виртуелних светова и система за учење. Кроз прототип решења биће описане компоненте архитектуре као што су контрола приступа, аватари,

микролекције, блокчејн интеграција и мрежни систем за комуникацију између корисника.

У шестом поглављу експериментисаћемо са друштвеним виртуелним световима како бисмо анализирали њихову примену у образовне сврхе. Затим, имплементирани ВОУ прототип поредимо са друштвеним виртуелним световима *Vircadia* [26] и *Sansar* [27]. Биће коришћена матрица за упоредну анализу коју је развио Маниен за потребе ВОУ решења [24], и биће приказани резултати анализе корисничког искуства ВОУ прототипа у коме су већински учествовали наставници и студенти. Помоћу UTAUT2 (енгл. *Unified theory of acceptance and use of technology*) и *lean startup* модела урадићемо анализу корисничког искуства.

На крају, у седмом поглављу биће приказан резиме резултата истраживања и правци даљег истраживања ВОУ решења коришћењем модерних технологија.

## 2. Виртуелни светови

Виртуелни свет можемо дефинисати на следећи начин: „Симулирани постојани простор заснован на интеракцији са рачунаром, настањен корисницима, који су представљени виртуелним аватарима, који могу да комуницирају једни са другима на синхронизован начин“ [2]. Пример виртуелног света можемо видети на слици 2.1. Један од медијума који се користи за приступ виртуелним световима јесу технологије виртуелне реалности.



Сл. 2.1 Пример виртуелног света са аватарима корисника.

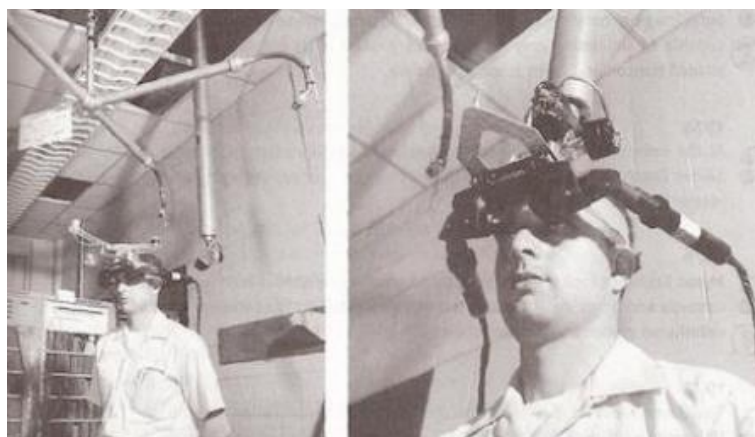
### 2.1 Технологије виртуелне реалности

Виртуелна реалност (ВР) представља свеобухватан, интерактивни уређај са више сензора за гледање тродимензионалних рачунарски генерисаних окружења и комбинације технологија потребних за изградњу ових окружења [2]. У подсвести већине људи, термин ВР повезује се са научнофантастичним филмовима или романима који глумце смештају у непостојећи свет [28]. Све је почело давне 1838. године када је Чарлс Витстон изнео концепт стереоскопских слика, где се комбинују две слике, по једна за свако око, како би направили једну 3Д слику [29]. Овај концепт је довео до развоја стереоскопа, технологије у којој користите илузију

дубине за креирање слике. Ово је исти концепт који се данас користи у модерним ВР слушалицама [30]. Писац научне фантастике Стенли Вајнбаум је 1935. објавио књигу *Pygmalion's Spectacles* [31], у којој главни лик истражује измишљени свет користећи пар наочара које су пружале вид, звук, укус, мирис и додир. На основу дефиниције виртуелна реалност представља: „Свеобухватан, интерактивни, мултисензорни уређај за гледање тродимензионалних компјутерски генерисаних окружења и комбинације технологија потребних за изградњу ових окружења“ [32]. Стереоскопски уређај који је привукао пажњу и почео да се примењује у разним гранама индустрије био је View-Master из 1939. Овај уређај данас представља један од основних концепата за креирање нискобуџетних ВР уређаја (енгл. *head-mounted display, HMD*). Затим је 1956. године сниматељ Мортон Хајлиг креирао уређај Sensorama [33] за потребе филмске индустрије. Сенсорама је филмска кабина креирана у стилу аркадних машина (слика 2.2.1). Омогућио је синхронизовано гледање стереоскопских слика, вибрација и вентилатора, стварање мириса и репродукцију звука. Машина је симулирала искуство вожње мотоцикла комбинујући 3Д видео са звуком, мирисима и вибрирајућом столицом. Хајлиг је 1960. године патентирао први екран који се ставља на главу, који је комбиновао стереоскопске 3Д слике са стерео звуком. Након Мортеновог открића, филмска индустрија је почела да развија мање и једноставније уређаје за гледање филмова у 3Д окружењу. Први концепт модерног ВР уређаја који је привукао пажњу био је *Ultimate Display* из 1965. године. Концепт је креирао Иван Сатерленд, чија је идеја да се направи уређај који ће помоћу рачунара креирати свет у коме корисник може да се креће и долази у контакт са стварима као у стварном свету. У поменутом периоду термин ВР још није био познат, компјутери су се тек развијали, док су претече ВР уређаја радиле са камерама [33]. Први ВР уређај који је користио рачунар за креирање објеката у реалном времену појавио се 1968. године и назван је Дамоклов мач (слика 2.2.2).



Сл. 2.2.1 Сенсорама, 1962. (преузето из [34])

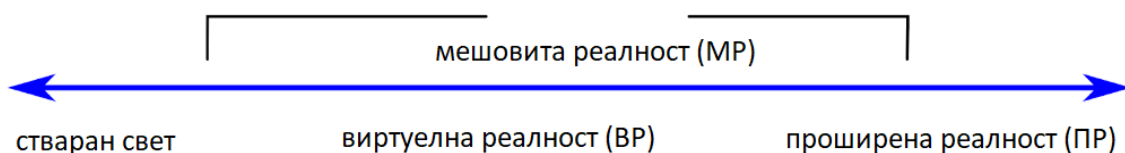


Сл. 2.2.2 Дамоклов мач (енгл. *The Sword of Damocles*), 1987. (преузето из [35])

Термин ВР је први употребио 1987. године Јарон Ланиер, оснивач VPL компаније. VPL је компанија која је започела развој ВР опреме као што су наочаре и рукавице. Почетком деведесетих година почела је примена ВР технологије у индустрији видео игара, посебно у аркадним машинама. Било је покушаја да компанија *Sega* направи први комерцијални ВР уређај за ширу јавност, али је пројекат био веома скуп за шире народне масе [36]. Током 1990-их било је неколико

неуспешних покушаја да се ВР уређаји приближе кориснику, као нпр. *Iglasses* [37] и *Nintendo Virtual Boy* [38]. Стављање ВР у други план трајало је до 2012. године када је Палмер Лаки креирао прототип првог модерног ВР уређаја. Због великог потенцијала који је уређај показао и недостатка финансија, истоимена компанија је у августу 2012. покренула кампању финансирања о стварању најсавременије технологије под називом *Oculus Rift*. *Facebook* је 2014. купио *Oculus VR* за две милијарде долара са визијом да ВР уређаји постану следећа велика рачунарска платформа после мобилних телефона [39].

ВР се доживљава помоћу два људска чула, вида и слуха. Представља свеобухватан, интерактивни уређај са више сензора за гледање тродимензионалних рачунарски генерисаних окружења и комбинације технологија потребних за изградњу ових окружења. За разлику од проширене реалности (ПР) и мешовите реалности (МР), виртуелна реалности (ВР) урања кориснике у потпуно вештачко 3Д дигитално окружење. ПР додаје виртуелне објекте у окружењу стварног света, док МР не само да прекрива, већ и прилагођава виртуелне објекте у стварни свет (слика 2.2.3) [40].



Сл. 2.2.3 Приказ технологија виртуелне и проширене реалности (Милграмов континуум). (преузето из [41])

Пример виртуелне реалности је 3Д слика коју можемо да истражујемо на рачунару и коришћењем одговарајућег контролера (миш, тастатура или гејмпад). Кориснички интерфејс за ВР можемо класификовати у три групе [42]:

- Имерзивни системи нижег нивоа (персонални рачунар и монитор).
- Виртуелна реалност (HMD или ВР уређај), системи који симулирају 3Д објекте у виртуелном или стварном свету. Користимо термин окружење за учење помоћу виртуелне реалности у случају када користимо ВР уређаје.

- Имерзивни системи у физичком простору (енгл. *Cave*).

Префињенији начин је коришћење преносног ВР уређаја постављеног на главу који контролишемо покретима. Типови апликација које се углавном развијају за ове уређаје су видео игре и симулације учења. Присуство нове генерације уређаја виртуелне реалности постоји од 2012. године, тако да су многе компаније у међувремену развиле сопствене ВР уређаје и развојна окружења. Најпознатије ВР уређаји који су изашли након 2012. године су: *Oculus Quest (Meta)* [43], *Playstation VR* [44], *Vive Pro* [45], *Valve Index* [46], *HP Reverb G2* [47], *Pico* [47] и *Google Cardboard (Google VR)* [48]. Постоје четири типа ВР уређаја тренутно на тржишту [49]:

- Додатак за мобилне телефоне (картонске или пластичне кутије) у које стављамо паметни телефон. Јефтинија и једноставнија варијанта за коришћење јер нису потребни персонални рачунари у додатна опрема за повезивање, док се апликације покрећу на паметном телефону. У ову групу спадају *Google Cardboard* и *Samsung Gear VR*.
- Самостални уређај (енгл. *stand-alone*) са свим уграђеним компонентама који не захтевају повезивање на рачунар. За разлику од првог типа, пружа оптимизовано и боље искуство у погледу перформанси и графичког приказивања. *Oculus Quest* и *Vive Focus* спадају у ову групу.
- ВР уређаји за персоналне рачунаре и за високо квалитетно искуство. Повезује се и покреће са рачунара. *Vive Pro* и *Valve Index* спадају у ову групу [50].
- ВР уређаји као додаци за играчке конзоле, пример је *Playstation VR* којим ће могуће играти видео игре које се развијају за *Sony Playstaton* [51].

Основе свих савремених ВР уређаја су: сочива за гледање стереоскопске слике, екран (енгл. *display*) за приказивање стереоскопске слике и инерцијалне мерне јединице (енгл. *inertial measurement unit, IMU*) [32]. Објективи долазе са различитим карактеристикама и разлика је у удаљености коју одржавају од екрана уређаја. Рачунар са графичким процесором (енгл. *Graphics Processing Unit - GPU*)



је задужен за приказивање података на екрану. GPU [52] омогућава рачунару да обрађује податке и слике које захтевају графичке процесорске јединице високих перформанси. Стереоскопска или 3Д слика ствара осећај дубине слањем просторних информација кориснику, стварајући тако осећај стварности. Инерцијална мерна јединица је електронски уређај који комбинује сензоре покрета као што су акцелерометар, жирокоп и компас за одређивање положаја ВР наочара у простору, док напреднија решења користе камере које се постављају око простора за кретање корисника ради позиционирања ВР уређаја [29]. Латенција или кашњење током приказивања слике ствара осећај нелагодности, што је један од главних проблема са којима се корисници модерних ВР уређаја могу суочити. Приказивање слике на ВР уређај се врши кроз процес прикупља података са уређаја, затим слањем података на рачунар где се врше потребни прорачуни и онда се слике враћају кориснику са одговарајућим подешавањима и на основу тога како је корисник позициониран у односу на почетно стање ВР уређаја. Подешавања екрана ВР уређаја се врше на самом уређају (нпр. физички тачкић за подешавање удаљености сочива од екрана) и/или коришћењем софтверске апликације за конфигурацију.

Опсег гледања обичног корисника је до 180 степени док модерни ВР уређаји стварају опсег од 90 и више степени [53], [54]. Хардверски јачи уређаји имају већи опсег гледања. Свако око покрива половину екрана и гледа исту слику, једина је разлика у позицији (енгл. *offset*), осећај тродимензионалности је потпун, због тога што се визуелни доживљај једнако преноси на оба ока. Могућност окретања и гледања са стране или чак иза себе, кориснику даје потпун осећај присутности на сцени. Корисници који се не могу кретати у физичком простору примарно користе технику телепортовања коју треба уградити софтверски [55]. Телепортовање може помоћи свим корисницима да несметано истражују свет око себе тако да ово може бити одличан додатак ВР софтверском решењу. Поред тога треба имати у виду да телепортовање може имати негативан утицај на кориснике тако да је потребно имплементирати прелазе (енгл. *fade in/out*) приликом промене локације како корисник не би осетио нагли прелаз на другу локацију [56].

У наставку биће описани ВР уређаји за паметне телефоне, персоналне рачунаре и играчке конзоле [57].

### 2.1.1 Google Cardboard

Данашњи pamетни телефони поседују све сензоре потребне за функционалан VR уређај осим кутије са сочивима. *Google Cardboard* је кутија са сочивима и не поседује електронске компоненте већ користи хардвер мобилног уређаја. Појавио се на *Google* конференцији маја 2014. године са циљем да омогући VR доживљај свакоме на планети ко поседује телефон новијих генерација. Почетком 2015. продато је више од милион кутија, што је више у односу на остале VR уређаје заједно. Поред тога, *Google* је направио упутство на основу кога се може направити уређај [58]. Прва верзија *Cardboard* уређаја подржава телефон до 5,7 инча док за интеракцију користи магнетно дугме које приликом померања ствара магнетно поље које детектује магнетометар на телефону. Међутим, решење са магнетним дугметом није радило на свим телефонима јер се магнетометар не налази на истој позицији код сваког телефона. Због проблема са развојем апликације и појаве телефона већих димензија на конференцији 2015. године појављује се верзија *Cardboard 2.0* која има подршку за телефон до шест инча и уместо магнетног дугмета користи проводну полугу која остварује директан контакт са екраном телефона. Поседује опсег гледања од 90 степени без ефекта дисторзије бурета и освежавање од 60 фрејма по секунди (енгл. *frame per seconds*). Подржава рад на *Android* и *iOS* платформама. Квалитет VR доживљаја *Cardboard* уређаја је доста слабији у односу на остале преносиве VR уређаје као што је *Meta Quest 2*. Током јануара 2016. године за *Cardboard* је објављено више од 1000 апликација и испоручено више од 5 милиона уређаја. Од 2021. *Google* је одустао од својих VR *Cardboard* уређаја укључујући и *Daydream* напредну варијанту VR-а за мобилне уређаје из 2016. године. Модерни алати за развој апликација и даље имају подршку за развој VR мобилних апликација.

### 2.1.2 Meta Quest

*Oculus* је први модерни VR уређај за персоналне рачунаре. Прва верзија *Oculus* уређаја под називом *Oculus Rift* [59] служиле су за развој апликација у некомерцијалне сврхе на персоналном рачунару, сам уређај је захтевао коришћење

у седећем положају при чему корисник само може да помера главу. *Oculus Rift* је поседовао екран резолуције 2160x1200, могућност освежавања слика од 90 фрејмова по секунди, опсег гледања од 100 степени, кратку постојаност осветљености пиксела и додавање испуштених фрејмова у случају кашњења графичких картица на персоналним рачунарима, праћење покрета главе корисника уз помоћ веб камере. Прва комерцијална верзија *Oculus Rift* појавила се крајем марта 2016. године са екраном који има резолуцију 1440×1600 по оку. Након тога се појавио *Oculus Quest* у 2019. са екраном резолуције 1440x1600 по оку и процесор *Snapdragon 835*, сам уређај није захтева везу са рачунаром. Тренутна верзија *Oculus* која носи име *Meta* након куповине *Facebook*-а је најпопуларнији уређај на тржишту у 2022. Години [39]. *Oculus Quest 2* подржава самостално праћење покрета и ВР контролер са шест степени слободе пуног покрета (6DoF), екран 1832x1920 резолуције по оку, уграђене звучнике, и процесор *Snapdragon XR2* који је знатно напреднији од свог претходника [60] *Meta Quest Pro* из 2022. подржава просторни звук од 360 степени, 12GB RAM, и 1800x1920 резолуцију по оку. *Meta Quest* продавница апликација поред видео игара има и апликације за спортске активности, медитацију, уметност, сарадњу, гледање 360 степени видео клипова и друго. Главни конкурент *Meta Quest* уређајима је *Pico* ВР компанија из Кине.

### 2.1.3 Playstation VR (PSVR)

*Playstation VR* [44] уређај компаније *Sony* који представља ВР додаток за *Playstation 4* и *5* играчке конзоле. Један је од најбоље дизајнираних ВР уређаја [61]. Има брзину од 120HZ чиме омогућава да видео игре раде на 120 фрејма по секунди док је екран базиран на технологији OLED од 5,7 инча чиме је побољшано замућење покрета (енгл. *motion blur*) и омогућена кратка постојаност осветљености пиксела. PSVR 2 је изашао у фебруару 2023. године и поседује уграђене камере за праћење изнутра према напоље што значи да се камере на самим слушалицама користе за праћење кретања главе играча и поседује 2000×2040 резолуцију по оку [62].

#### 2.1.4 Vive Pro и Valve Index уређаји

*Vive Pro* и *Valve Index* уређаји на основу тренутних спецификација су водећи уређаји на тржишту за високо квалитетна ВР искуства [63]. Представљају део SteamVR система који за разлику од *Meta Questa* платформе која омогућава кретање корисника у простору. Први *Vive* уређај је приказан 2015. године на MWC конгресу. *Vive Pro 2* поседује екран димензија 4896x2448 и користи два сензора која се постављају око простора где ће се уређај користити ради праћења кретања. *Valve Index* поседује резолуцију 1440x1600 по оку и дизајниран је примарно за видео игре, *Valve* је задужена за много остварења у свету видео игара [64].

#### 2.1.5 Остали уређаји

Поред наведених технологија треба споменути још неколико перспективних ВР уређаја. *Archos VR Glasses* [65] је ВР уређај који поседује подршку за телефон до шест инча, поред тога подржава све апликације које се развијају за *Cardboard*. *Avegant Glyph* [66] представља хибридни уређај који се из слушалица трансформише у ВР уређај. *Razer OSVR* [67] представља отворену платформу (енгл. *open-source*) која обухвата хардвер и софтвер. Подржава рад на *Android* [68], *Windows* [69] и *Linux* [70] оперативном систему и дизајниран је да буде компатибилан са осталим ВР уређајима. *HP Reverb G2* [71] је уређај са најбољим квалитетом слике, резолуција на овим уређајима износи 2160x2160 по оку док је поље видљивости од 114 степени. Такође, имају уграђено праћење просторија засновано на камери.

Треба поменути и уређаје проширене и мешовите реалности као што су *HoloLens* (верзија 2 од 2019.) [72], *Magic Leap* [73] и *iPhone* телефони са лидар сензорима који имају могућност домета светлости [74], ови уређаји имају примену у индустрији. *HoloLens* може да пројектује холографску слику и интегрише са стварним светом, и затим корисник може да манипулише њом унутар окружења.

### 2.1.6 Окружења за развој

Постоји неколико начина за развој ВР апликација и виртуелних светова, тако да их можемо поделити на следеће групе: нативни развој, алати за развој видео игара и веб претраживачи [75].

Нативни развој обухвата драјвере и софтверске библиотеке које су уско везане са оперативним системом као што су Win32 библиотеке за C++ апликације и Java библиотеке за *Android*. ВР уређаји поседују софтверске пакете за развој (енгл. *software development kit*) у зависности од платформе и интерфејса за приступ елементима уређаја. Постоји потреба за развојем нижих елемената компоненти система (енгл. *low-level*) од стране програмера као нпр. рендеровање графике или физике у оквиру окружења. Нативни развојни програм је најфлексибилнији и најоптимизованији, али захтева пуно времена поготово ако желимо да покријемо већи број платформи. Због овога већина програмера користи готова развојна окружења.

Алати за развој видео игара (енгл. *game engine*) служе као посредни софтвер (енгл. *middleware*) што значи да имају имплементиране ниже развојне елементе. Представља интегрисано развојно окружење (енгл. *Integrated Development Environment, IDE*), првенствено за развој видео игре. Омогућава креирање апликација коришћењем виших програмских језика. Због својих карактеристика алата за прављење видео игара постали су основа не само за видео игре већ и за остале врсте 3Д апликација. Омогућавају извоз на више различитих платформи, имају уграђен визуелизатор (енгл. *rendering engine, renderer*) за 2Д и 3Д графику, драјвере за симулацију основних физичких закона (енгл. *physic engine*), обраду звука, скрипте за дефинисање функционалности, анимације, вештачка интелигенција, умрежавање, итд. Најпознатији алати за развој видео игара су: idTech 6 [76], *Unreal Engine 4/5 (Gears of War, Mass Effect)* [77] за програмирање се користи C++ или Java, *CryEngine 3 (Crysis)* користи Lua језик [78], *Source engine (Counter Strike, Half-Life)* користи C++ [79], Unity који користи C# (*Mono* верзија) и JavaScript програмске језике [80], *Amazon Open 3D Engine* (C++ или Lua) [81], *Coppercube* (JavaScript) [82], *Omniverse Nvidia (Python)* [83] и други. Већину комерцијалних алата можемо преузети бесплатно у образовне сврхе или за развој

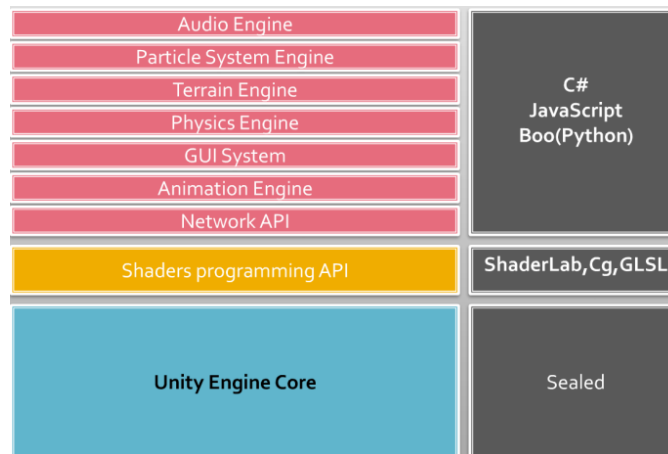
нових пројеката, имају подршки за визуелно програмирање. Компаније које стоје иза алата омогућавају приступ изворном коду својим корисницима уз одређену надокнаду или бесплатно. Шта се тиче решења отвореног кода постоје: *libGDX (Java)* [84], *Stride (C#)* [85], *Torque 3D (C++, TorqueScript)* [86], *Urho3D (C++)* [87], *OGRE (C++, Python, Java, C#)* [88] и други.

Веб претраживачи укључују развој више платформских апликација коришћењем HTML5, WebGL и JavaScript технологије. Пример је развој апликације помоћу JavaScript 3D библиотеке *three.js* [89] или *babylon.js* [90] које су базиране на WebGL-у [91]. Веб претраживачи са подршком за VR су *Chrome* и *Servo* (базиран на *Firefox Reality*). Прва је Mozilla кренула са развојем VR додатка за свој претраживач. Затим су *Google* и *Mozilla* удружили ресурсе за развој новог веб стандарда за VR под називом WebVR, који омогућава приступ веб претраживачу преко VR уређаја. Поред тога, постоје доменско-специфични језици (енгл. *domain-specific language*) и веб алат A-Frame за WebVR апликације. A-Frame је написан од стране компаније Mozilla и отвореног је кода [92].

Развој VR пројекта захтева планирање ресурса где укључујемо избор одговарајућих VR уређаја и софтверског алата. Десктоп VR уређаји могу бити комплексни за конфигурацију и могу одузети кориснику доста времена приликом подешавања развојног окружења. Што се тиче развоја VR апликације највише се користе алати *Unity* и *Unreal Engine*. Наведени алати су већ дужи низ година стандард за развој видео игара и омогућавају бржи развој. У наставку биће описан алат *Unity*.

*Unity* алат је осмишљен за програмере и дизајнере који желе да праве игре на једноставан и брз начин. Циљ алата је да омогући кориснику да посвети своје време искључиво функционисању саме игре, док се за позадински део брине језгро алата. *Unity* се појавио 2005. за *macOS (Apple)*, а касније је добио подршку за *Windows* и *Linux* системе. Алат је развио *Unity Technologies*. Језгро алата је написано у C++, док је развојно окружење урађено у C# програмском језику. Креиран је као 3D алат за развој игара, има добру подршку за развој и учење, зато већина програмера бира овај алат. Структура *Unity API*-а можемо видети на слици 2.2.5.1. *Visual Studio* се препоручује за писање C# кода, коришћењем *Mono* библиотеке

отвореног кода која је компатибилна са .NET окружењем. Што се тиче ВР апликација Unity има подршку за све веће платформе. Поред видео игара Unity се користи за развој симулација за учење, индустријску примену, аутоиндустрију и слично [80].



Сл. 2.2.5.1 Софтверске компоненте алата за развој игара. (преузето из [93])

Што се тиче развоја ВР софтвера, потребно је познавати најбоље праксе (енгл. *best practice*) и стандарде за кориснички интерфејс (енгл. *user interface and experience*). У наставку биће речи о праксама и стандардима за развој ВР софтвера код десктоп и мобилних апликација. Постоји SteamVR нативна интеграција са Unity развојним окружењем. Настала је као део сарадње Valve и Unity Tehnologies [7]. Такође, постоји OpenXR и Unity XR додаци који подржавају друге ВР уређаје.

### 2.1.7 Најбоље праксе и стандарди

Кориснички интерфејс код ВР-а се знатно разликује од стандардних апликација. Пре свега битно је знати резолуцију уређаја за десктоп и мобилни уређај на коме ће се апликација покренути. На основу овога можемо дизајнирати окружење интуитивно за употребу [7]:

- Што се тиче техника оптимизације препоручује се коришћење *Anti-Aliasing* (AA) код десктоп уређаја. AA техника није препоручљива код већине мобилних уређаја

- Рендеровања објеката на ВР сцени може доћи до појаве видљивих пиксела, у том случају се објекти скалирају помоћу технике *RenderScale*. У овом случају се побољшавају перформансе али се смањује квалитет слике. Препорука је да дизајнери 3Д објеката користе што мање полигона због рендеровања на сцени, поготово ако се ради апликација за мобилну платформу. Алат за игре као нпр. *Unity* има опцију *Level of Detail (LOD)* која омогућава оптимизацију броја полигона у односу на даљину
- *Lightmapping* је средство које може значајно да повећа перформансе. Идеја је да помоћу наведених опција онемогући динамичко осветљење и да користимо статично осветљење које се рендерује на почетку креирања сцене и нема потребе за додатним изменама током животног циклуса сцене.
- *Oclusion Culling* је техника која се користи у видео играма које користе велике сцене са великим бројем објеката, идеја је да се помоћу ове технике рендерују само објекти који су тренутно видљиви кориснику.

Што се тиче стандарда за развој корисничког интерфејса за ВР апликације [20], треба узети следеће елементе у обзир:

- *Non-diegetic* - Елементи који не припадају виртуелном свету као нпр. HUD се јако мало или уопште не користи код ВР апликације пре свега због утицаја на имерзивност и фокус корисника на ВР окружење.
- *Spatial* - Елементи који могу бити део ВР света у односу на non-diegetic елементе и имају позицију која не прати камеру корисника.
- *Diegetic* - Елементи који прате неки објекат на сцени. Дobar пример је име изнад другог корисника на сцени.
- *Meta* - Ефекат приказа на сцени који није део ВР света нпр. промена боја уколико корисник има интеракцију са неким објектом.

Већина алата за развој видео игара омогућава да се стандардна десктоп 3Д апликација промени у ВР апликацију. Пошто је ВР у раној фази развоја постоји вероватноћа да се корисник сусретне са великим бројем грешака. Постоји



могућност од грешке на новим верзијама оперативних система. Приликом објављивања апликација на већим платформама постоје правила која се треба придржавати како би корисник имао најбољи ВР доживљај. Након предаје апликације потребно је да се уради рецензија од стране тима стручњака. Уколико апликација има опцију за померање позиције главе по ипсилон оси помоћу миша или контролера биће враћане са захтевом за исправку. Тренутно на тржишту постоји неколико симулација специјалног прављења за кориснике ВР уређаја. Симулације су акционог, авантуристичког или логичког типа где се од корисника захтева истраживање виртуелног окружења или решавање логичких задатака. Што се тиче начина коришћења све симулације омогућавају кориснику кретање у одређеном простору и манипулацију објектима.

Корисници који желе да имају потпуну контролу у ВР свету могу да користе хаптичке уређаје. Модерни ВР уређаји долазе са контролерима који су креирани за сврху манипулације објектима у виртуелном свету. Постоје хаптички уређаји који омогућавају виши ниво контроле, као што су нпр. ВР рукавице у којима корисник може да манипулише објектима користећи своје прсте, а да не види разлику у поређењу са стварним светом. Како функционишу хаптички уређаји и које уређаје тренутно имамо за ВР, можемо видети у наставку рада.

#### 2.1.8 Хаптички уређаји

Хаптички уређаји су уређаји који омогућују рачунару да кориснику створи осећај додира. Хаптички уређај ствара пажљиво контролисану повратну силу у прстима корисника тако да корисник има осећај као да додирује објекат. Коришћење корисникових прстију у сврхе контролисања садржаја у апликацији можемо видети код апликација проширене и виртуелне реалности. Техника препознавања су другачије јер код апликација виртуелне реалности прсти нису видљиви директно кориснику. Један од начина препознавања јесте комбинација техника рачунарске визије са хаптичким уређајем (слика 2.2.7.1). ВР уређаји који омогућавају препознавање помоћу техника рачунарског вида имају камере испред свог ВР уређаја који омогућава препознавање одређених објеката из стварног света.

На овај начин камера детектује наш хаптички уређај помоћу ког задајемо даље команде [94].



Сл. 2.2.7.1 Хаптички уређаји. (преузето из [94])

Хаптички уређаји се користе у паметним телефонима већ дужи низ година нпр. нотификација корисника кроз вибрацију уређаја. Сличан принцип за нотификацију се користи код контролера за видео игре нпр. *DualShock* контролери за *PlayStation* [51]. Следећа употреба је у медицини где је омогућено хирургу да обавља хируршки захват са удаљене локације тако што контролише робота. Хаптички уређаји имају примену као помагало код људи са оштећеним видом приликом коришћења рачунара или играчких конзола. Користи се код паметних сатова за мерење стања људског тела итд. У свету ВР технологија хаптички уређаји заузимају све већи значај и развијају се великом брзином. Тренутно на тржишту имамо неколико хаптичких уређаја.

*Ultraleap* су хаптичке рукавице које подржавају праћење покрета руку. Технологија се може интегрисати са било којим дигиталним системом, и омогућава унос података помоћу покрета без додиривања екрана. Следећи уређај је *KOR-FX* који представља прслук за примање информација. Ради тако што директно из виртуелног света шаље догађај на прслук. На овај начин корисник може да осети промене путем вибрација које добија. На овај начин код корисника се ствара виши ниво припадности унутар ВР окружења.

Још један интересантан хаптички уређај за ВР је *Teslasuit*. *Teslasuit* представља уређај које покрива цело тело корисника (слика 2.2.7.2). Ради тако што апликација шаље информације оделу где се стварају вибрације на основу догађаја из ВР света. *Teslasuit* представља пројекат чија је идеја да помоћу ВР технологија оствари невербалну комуникацију виртуелним путем [95].



Сл. 2.2.7.2 *Teslasuit*. (преузето из [95])

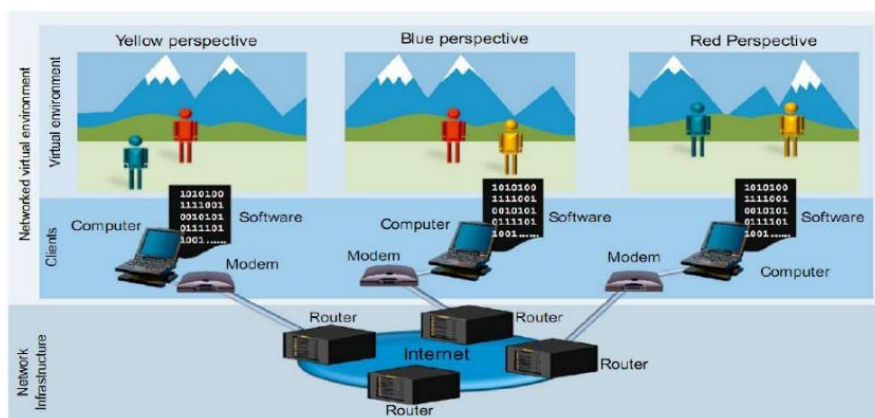
## 2.2 Врсте виртуелних светова

Виртуелна окружења за сарадњу (виртуелни светови) нам омогућавају да ставимо корисника унутар компјутерски генерисаног окружења која омогућавају нове врсте искуства као што су: друштвено присуство, конструктивистичко учење, решавање проблема и интеракција са другим учесницима. Виртуелна окружења нуде различите могућности, користе модерну технологију и ангажују људске перцептивне и киноестетске способности. Нуде могућност вежбања задатка у виртуелном свету на такав начин да вештине могу да се пренесу у стварном свету као и прилику за комуникацију са другим корисницима. Виртуелно окружење се обично описује као облик интеракције између човека и рачунара (енгл. *Human-computer interaction, HCI*) или кроз концепт интеракције виртуелног окружења и човека (енгл. *virtual-human Interaction*) који се састоји од рачунарско генерисане визуелне и аудио симулације у тродимензионалном простору (3Д графика).

Корисници имају интерактивна искуства где комуницирају једни са другима. Имају способност реаговања на доживљаје у околини и измене тих естетских доживљаја околине као што су: контрола кретања аватара или променом неке карактеристике околине [96].

На основу Меклуханове (енгл. *McLuhan*) нотације укључености виртуелно окружење се може дефинисати као електронски простор у коме се доживљавају стварна искуства. Када корисници урањају у виртуелно окружење све изгледа као да су корисници негде отишли, као да су премештени у други простор, а заправо су ти корисници пребачени у виртуелну територију где они заправо стварно доживљавају оно што раде [97].

Умрежена виртуелна окружења (енгл. *networked virtual environments*) представљају системе виртуелних окружења који су дистрибуирани широм светске мреже. Корисници комуницирају помоћу интерфејса инсталираном на уређајима, док софтвер комуницира са виртуелним окружењима чиме се омогућава навигација корисника кроз виртуелно окружење. Тиме се омогућава да више физички удаљених корисника учествује у заједничком виртуелном окружењу. Циљ умрежених виртуелних окружења није да створи искуство за само једног корисника, већ креирање заједничког искуства за све кориснике који учествују (слика 2.3.1).



Сл. 2.3.1 Умрежено виртуелно окружење. (преузето из [98])

Сваки рачунар има локалну копију окружења па се сваки корисник на свом рачунару може слободно кретати унутар виртуелног окружења и манипулисати

предметима у том окружењу. Све копије окружења се међусобно синхронизују путем мреже и на тај начин све промене које један од корисник направи у локалној копији окружења се ажурирају на свим осталим рачунарима, а затим сви корисници виде синхронизовано окружење са свим променама.

Посетиоци виртуелних окружења могу бити представљени путем аватара. Аватар (анимирани 3Д модели) представља отелотворење корисника у дводимензионалном и тродимензионалном свету. Аватари се користе у рачунарским играма, на Интернет форумима и другим местима. Поред аватара у виртуелном окружењу је могуће срести агенте (објекте са уграђеном вештачком интелигенцијом). Агент као виртуелни људски помагач корисника наводи унутар апликације, може да покаже места, хода од једног до другог, као и да чита информације са екрана. Аватари или агенти могу бити готово људски блиски тако да неки ученици у њима проналазе ефикасну замену за инструкторе који не могу бити на располагању у одређеном временском року.

Виртуелни свет комбинује интерактивну 3Д графику, технологију симулација, виртуелну реалност, Интернет телефонију и дигиталне медије неопходне да обезбеде корисницима неограничене способности да комуницирају, сарађују и истражују. Током фазе развоја, виртуелна окружења су углавном била заснована на играчкој (гејминг) заједници и током времена су прилагођена да задовоље друге потребе као што је пример предавача који се повезују користећи виртуелне светове за испоруку курса. Окружења у виртуелним световима може да се користи као дигитална учионица, виртуелно место за одржавање предавања, које може да изгледа као традиционално лицем у лице предавање. Јасно је да се виртуелни светови могу користити у различите иновативне начине.

Неки од најзаступљенијих колаборативних виртуелних светова су:

- Second Life [99],
- High Fidelity [100],
- Sansar [27],
- VirBELA [101],
- Microsoft Mesh (од марта 2023. наследник AltSpaceVR) [343] и

- RecRoom [102].

Виртуелни свет можемо да опишемо као рачунарски генерисано окружење за више корисника засновано на искуствима из стварног живота, где могу да комуницирају и сарађују међусобно. Ово се односи на следеће елементе:

- Заједнички простор: омогућава учесницима да буду на локацији која може бити стварна или измишљена (соба, лабораторија, сала за вежбање или неко друго окружење). У заједничком простору долази до интеракције између корисника.
- Интерактивност и имерзија (ураћање): омогућавају корисницима интеракцију са заједничким простором. Корисници могу да граде и додају садржај у окружење. Корисници треба да буду уроњени у заједнички простор и укључени у активност.
- Одрживост: виртуелни светови су одрживи без обзира на број активних корисника. Корисници могу да приступе трајном виртуелном окружењу сваки пут када желе и да синхронизују тренутни статус стања и догађаја у свом локалном виртуелном окружењу након што се врате са одсуства.
- Непосредност: виртуелни светови треба да омогуће интеракцију између корисника у реалном времену.
- Социјализација: интеракција са другима, сарадња и комуникација у заједничком простору.

Видео игре улога за више играча (енгл. MMORPG) су данас веома популарне због свог друштвеног аспекта, међутим, с друге стране, друштвене мреже су део свакодневног живота. Друштвени виртуелни светови због јаке социјализације између корисника омогућавају интеграцију друштвених пракси из стварног света [103]. Корисници не решавају нужно задатке као у MMORPG видео играма, већ се првенствено друже са другим корисницима.

Најпопуларнији алати за прављење виртуелних светова су *Unreal* или *Unity* алати за прављење игара. Такође, *Amazon Sumerian* [104] веб базирано решење у облаку где корисник може да направи интерактивне сцене које се покрећу на ВР уређајима, као и на *Android* и *iOS* мобилним уређајима. Корисник може да направи

виртуелну учионицу у којој може да обучава ученике или да креира виртуелно окружење за обилазак зграде користећи интелигентне агенте.

На основу досадашњих резултата и информација у раду, упознати смо са начином рада и могућностима које пружа ВР. Поред видео игара, још једна област којој ВР може допринети су друштвене апликације. У наставку можемо видети како ВР може допринети развоју друштвених мрежа и, пре свега, видео конференција.

### 2.2.1 Друштвени виртуелни светови

Индустрија игара је усвојила виртуелну реалности и концепт виртуелних светова раније од других индустрија. Играчи који су раније били заинтересовани за друге жанрове онлајн игара, као што су игре за више играча, често показују интересовање за друштвене виртуелне светове (енгл. *social virtual worlds*) као нови жанр у индустрији. Помоћу виртуелних светова, играчи могу имати искуство блиско стварности јер унутар виртуелног колаборативног окружења могу да комуницирају са другим играчима, тргују имовином у игри, па чак и искусе физички осећај додир користећи хаптичке рукавице и јакне.

Друштвене мреже омогућавају комуникацију користећи: текст, звук или видео. Видео комуникација је познатија као видео конференције. Комуникација се обавља помоћу веб камера, а разговор се одвија у групама од две или више особа. Ако упоредимо видео конференцију са јавним наступом, можемо уочити неколико недостатака [105]. Пре свега, веома је тешко успоставити контакт очима, у принципу корисник мора да гледа директно у оквир камере, што може бити веома заморно. Одржавање пажње је још један изазов, у комуникацији је веома тешко одредити ко слуша јер из перспективе говорника може изгледати да је група окренута леђима иако гледа говорника на екрану. Трећи проблем је говор тела, када говорник седи поред екрана, углавном му је изложено само лице, а кретање му је ограничено јер је у седећем положају. Задржавање истог положаја може бити клаустрофобично за корисника. Следећи проблем је заједнички простор, током видео конференције актери могу бити на више различитих локација, што различито утиче на понашање. У овом случају, актери пасивно прате радњу видео

конференције док обављају друге радње. Светло које шаље екран монитора може утицати на изглед корисника ако погледамо са друге стране, чак и ако постоји помоћно светло може утицати на изглед корисника. заслепити корисника тако да ништа не види на екрану. На рад конференције утичу и технички проблеми као што је кашњење видео преноса, иако је развојем технологије овај проблем значајно ублажен. Поменути проблем утиче на целокупно искуство и зато се практикују састанци уживо. Уз помоћ ВР технологије могуће је направити замену за видео конференције и решити проблем који ствара тренутна технологија. У виртуелном свету, праћењем кретања ВР уређаја, корисници могу да виде понашање других корисника. Једини проблеми који се јавља је кашњење ВР сензора и квалитета графичког приказивања. Развојем ВР технологије такви проблеми ће бити елиминисани, а уређаји ће бити прецизнији и интуитивнији за употребу [106].

Платформе за виртуелне светове можемо поделити на две велике групе, социјалне ВР платформе и видео игре за више играча. Доступна решења су углавном усмерена на индустрију забаве, али не толико и на ВОУ системе. Како би прошири на друге секторе, решења као *Second Life*, *Minecraft*, *Roblox*, касније су додале опције за учење кроз игру.

Виртуелни светови интегришу неколико технологија у једну платформу, које укључују: аудио, видео, веб камеру, текстуално ћаскање, гласовно ћаскање (енгл. *Voice over Internet Protocol*), и аватаре. Неки од примера платформи су *Second Life*, *VRChat* [107], *Sinespace* [108], *VirBELA* [101], *High Fidelity*, и *Sansar*. *Second Life* је најзрелија и најпопуларнија платформа заснована на виртуелним световима. Клијентски програми омогућавају корисницима *Second Life*-а да буду у сталној интеракцији једни са другима путем аватара. *VRChat* омогућава синхронизацију усана и праћење очију, као и софтверски додатака за креирање светова и аватара. *VirBELA* је друштвена ВР платформа за развој пословања и образовања. У овом раду ћемо за поређење користити *High Fidelity* (бета верзија 7885) и *Sansar* (бета верзија 3.5.6.45354) платформе друштвене виртуелне реалности. Оба решења су веома слична *Second Life*-у (укључује и решење као што је *Active Worlds* [109]), погодна су за примену у образовне сврхе.



*High Fidelity* [100] је компанија која се бави инжењерингом, управљањем производима и развојем купаца. Компанију је 2013. године основао Филип Роуздејл. Главни пројекат је High Fidelity клијент-сервер апликација и платформа отвореног кода за развој и примену виртуелних окружења. Виртуелно колаборативно окружење High Fidelity омогућава корисницима да креирају сопствене друштвене светове који могу бити доступни другим корисницима платформе кроз заједничке активности унутар виртуелног простора. Језгро платформе High Fidelity је имплементирано у програмском језику C++. Платформа омогућава корисницима да репродукују свакодневне радње у стварном свету попут летења, седења, промене сопственог изгледа и телепортовања. High Fidelity је веома популаран међу раним корисницима ВР-а. *High Fidelity* омогућава кориснику да хостује искуства на сопственом рачунару или у облаку. Такође, платформа обезбеђује умрежавање високих перформанси, 3Д звук и рефлексije унутар просторија, подршку за хардверски API за праћење тела, 3Д рендеровање и дигиталне аватаре. Корисници у виртуелном свету имају апликацију за креирање једноставних 3Д објеката. Постоји *Spectator Camera* за наступе у виртуелном свету, док у комбинацији са софтвером за снимање као што је *Open Broadcaster Software* (OBS), корисници могу да снимају или преносе уживо своје активности унутар *High Fidelity*-ја.

*High Fidelity* такође садржи тржиште где корисници могу да купе аватаре и друге 3Д објекте. *High Fidelity* користи криптовалуту под називом *High Fidelity Coin* (HFC) за подршку финансијским трансакцијама унутар веб продавница и блокчејн за заштиту интелектуалне својине. *High Fidelity* након инсталације софтвера како би кориснику омогућио да угости сопствени садржај аутоматски додаје девет клијентских процеса који се непрекидно извршавају у позадини. Из перспективе корисничког дизајна, *High Fidelity* омогућава коришћење виртуелног таблета за листање доступних виртуелних светова тако да корисник не мора да излази из виртуелног окружења. Платформа подржава *Oculus Rift* и *Vive Pro*. *High Fidelity* API подржава четири типа скрипти: скрипте интерфејса, скрипте клијентских ентитета, скрипте ентитета сервера и клијентске скрипте за доделу (трајне скрипте). *High Fidelity* користи *Javascript* за креирање садржаја, интеракцију са аватаром, репродукцију звука на одређеној локацији, итд. Величине скрипти нису ограничене

величином линија кода. Од 2020. *High Fidelity* је престао са развојем платформе а његов отворен код је преузело неколико компанија како би наставио са даљим развојем виртуелних светова, компанија која је навише одмакла са развојем и даље је активна на пројекту је *Vircadia* [26].

*Sansar* је бесплатна платформа за виртуелне светове коју је развио *Linden Lab* [27]. Лансирана у бета верзији за ствараоце садржаја током 2017. платформа омогућава креирање 3Д простора у коме корисници могу да стварају и деле интерактивна друштвена искуства, као што су играње игрица, гледање видео записа и разговори користећи ВР технологије. Учеснике представља аватар налик људима из стварног света. Такође, прилагођавање аватара се може интегрисати са *Marvelous Designer* (алат за 3Д дизајн одеће) [110]. *Sansar* подржава ВР уређаје као што су *Oculus* и *Vive* на *Windows* рачунарима. Корисници *Sansar* могу да врше платне трансакције користећи виртуелну валуту унутар платформе. *Sansar* користи C# скрипте и Mono .NET API [111] да обезбеди интеракције унутар простора. Постоје три основна API-ја: објекат, сцена и агент. Основна класа одређује који су API-ји доступни скрипти. API омогућава корисницима да граде садржај са механизмима повратних информација за оптимизацију генерисаног садржаја, систем веома сличан програмирању у *Unity* алату.



Сл. 2.3.1.1 Окружење унутар High Fidelity платформе.



Сл. 2.3.1.2 Корисници унутар Sansar платформе.

## 2.2.2 Видео игре за више играча

Видео игре за више играча су широко распрострањене у индустрији игара, представљају играње на даљину са великом базом играча. MMORPG (енгл. *Massively Multiplayer Online Role Play Game*) игре покривају различите жанрове који имају фокус на акцији. Добро познати примери су *World of Warcraft*, *Lost Ark*, *New World* и *Skyforge*. MMO игре можемо поделити у следеће категорије [112]:

- *Free-To-Play* (бесплатне игре) – Ове игре не захтевају трошкове за набавку софтвера и немају претплату. Међутим, неке игре означене као бесплатне укључују микротрансакције тј. куповину додатног садржаја.
- *Freemium* модел – Код овог модела, већи део игре је бесплатан, али играчи обично плаћају додатни садржај као што је прилагођавање карактера и додатне вештине.

- *Buy-To-Play* (игре које се купују) - Игра се мора купити одмах на почетку и нема касније претплате, ове игре могу да укључују микротрансакције за додатни садржај.
- *Pay-To-Play* - Захтева месечне претплате од играча. Такође, ове игре могу захтевати почетну накнаду.
- *Play-To-Earn* - Ове игре се односе на концепт игара у којем платформа пружа својим играчима шансу да зараде било који облик средстава у игри која се може пренети у стварни свет као вредан ресурс.

## 2.3 Примена виртуелних светова

Виртуелни светови имају примену од видео игара до друштвених апликација, али потенцијал овог медијума се још истражује кроз различите домене, што можемо видети у истраживањима која су објављена последњих година [113].

### 2.3.1 Научно-истраживачки радови

Примена виртуелних светова кроз научно-истраживачке радове можемо приказати кроз следећи листу:

- Развој вештина код деце са аутизмом [23].
- Колаборативно окружење за реаговање у ванредним ситуацијама (*Megacity*) [114].
- Колаборативно окружење које подржава процесе обуке за осигурање квалитета (*Usalpharma*) [115].
- Колаборативно окружење за обуку обезбеђења на великим догађајима [116].
- Колаборативно окружење за обуку развоја софтвера помоћу Скрам методологије [117].
- LMS (енгл. *Learning management system*) решења, софтвер који се користи за креирање, администрацију и праћење обуке. Пример је Sloodle (*Sloodle Learning System for Virtual Environments*), спој

друштвеног виртуелног света и система за учење тј. *Second Life* и *Moodle* (енгл. *Modular Object-Oriented Dynamic Learning*) платформе [118].

БОУ решења могу да понуде помоћне алате за ученике којима је потребна подршка у развоју друштвених вештина. Пример је *iSocial* [23], десктоп апликација за развој вештина за ученике са поремећајем аутистичног спектра (енгл. *Autism Spectrum Disorder, ASD*), циљ апликације је да побољша друштвене компетенције корисника коришћењем виртуелних светова. Стендал и Бладин [119] сугеришу да људима са аутизмом одговарају виртуелних светова и да се осећају угодније током комуникације у поређењу са физичким светом. Они такође наглашавају да виртуелни светови нуде сигурно место за особе са аутизмом где могу да буду део инклузивног виртуелног друштва. Хереро и Лоренцо [120] представили су образовни софтвер који служи за унапређење друштвених вештина ученика са аутизмом. Они сматрају да су 3Д виртуелне школе место у коме учесници могу да комуницирају са учитељицом и другом децом коришћењем аватара, тако да су развили студију случаја како би ово потврдили кроз експерименталну групу коју је чинило неколико ученика. Образовни софтвер се показао као ефикасан на основу мишљења терапеута и позитивно је утицао на компетенције експерименталне групе. Крајчович и други [121] су обавили студију случаја кроз метод подучавања *lean* менаџмента унутар виртуелног света. Резултати студије дали су закључак да су искуства кроз примену виртуелних светова атрактиван метод наставе у универзитетском окружењу и да су студенти прихватили интеграцију технологије виртуелних светова у процес наставе из индустријског инжењерства.

Варбуртон сматра да су БОУ решења нови тренд у области е- образовања на основу искуства са платформом *Second Life* [99]. У његовом раду БОУ је коришћен за мотивисање ученика кроз интеграцију са платформом за е-образовање *Moodle* [122]. *Sloodle (Simulation Linked Object-Oriented Dynamic Learning)* платформа је пример интеграције *Moodle*-а са платформом *Second Life* [118]. *Sloodle* је решење отвореног кода које интегрише вишекорисничко виртуелно окружење *Second Life* и *OpenSim* [123] са *Moodle* системом за управљање учењем (LMS). *Sloodle* успоставља комуникацију и интеракцију између објеката у *Second Life*-у и материјала који се преузимају са *Moodle*-а. Такође, Нунес и други [21] су у свом истраживању анализирали *Sloodle* решење. У раду су представили главне

карактеристике и оценили ефикасност помоћних алата током инжењерског курса. Решења коришћена у овом истраживању су OpenSim, Moodle, IDEOne за писање алгорита и Sloodle. Анализа је потврдила да је комбинација виртуалног света са Moodle решењем валидна алтернатива током подучавања студената, са акцентом на мотивисање и имерзивне карактеристике током студентских активности.

Скот и други [22] су користили *CocoVerse* оквир за сарадњу унутар виртуелних светова. *CocoVerse* платформа је имерзивно виртуелно окружење где су корисници могли да манипулишу објектима користећи хаптичке алате. Платформа је развијена за *Vive* уређаје и тестирана над експерименталном групом од 30 кандидата. Кандидати су имали различите задатке за обављање у оквиру виртуелног света где су требали да остваре сарадњу како би обавили задатак. Након тестирања, већина кандидата је имала приговор на кориснички интерфејс, док су неки кандидати лакше радили задатак самостално. Пасос и други [116] користили су ВКО за обуку обезбеђења за реализацију догађаја. Како би креирали окружење, користили су *Autodesk 3ds Max* [124] и *Unity* [80] алат. ВКО је коришћен са циљем да корисницима пружи процес обуке у којем су могли да препознају претњу као што су радиоактивне супстанце на јавним местима. Пројекат је прошао кроз четири фазе: когнитивну анализу задатака, случај коришћења за креирање корисничког интерфејса (визуелни дизајн), прототип корисничког интерфејса и евалуацију корисника. Након анкете, корисници су имали позитивно искуство приликом обављања задатака, што се тиче побољшања предложили су додавање невербалне комуникације у симулацији. Шарад и други [114] представили су *Megacity* платформу за обуку у ванредним ситуацијама. *Megacity* обезбеђује сарадњу између дигиталних аватара и интелигентних агената. ВКО је креиран помоћу *Unity*, док је подршка за више корисника урађена помоћу алата *Photon Networking Framework*. Током теста коришћен је *Oculus Rift* уз подршку тастатуре и миша. Симулација је тестирана са десет корисника и кроз три сценарија. Корисници су током процеса тестирања доносили различите одлуке и, на основу резултата након евалуације, аутори су закључили да симулација још није спремна да замени обуку из стварног света. Круз-Бенито и други [115] су представили *Usalpharma* софтверску архитектуру за учење унутар виртуелног света. *Usalpharma* има архитектуру засновану на облаку са сврхом да прошири и унапреди виртуелна окружења.

Такође, решење има подршку за анализу података процеса обуке у здравству. Софтверска архитектура за комуникацију са корисником користи клијент-сервер шему, која се састоји од неколико повезаних слојева (прикупљање података, постојаност података или анализа) и омогућава примену сваког слоја чак и у различитим окружењима на облаку кроз скалирање и примену различитих технологија на сваки сегмент. Примарни фокус решења *Usalpharma* је анализа података обуке која је креирану у виртуелном свету. Зиза и други [8] су предложили имплементацију вишеструког модула учења развијеног коришћењем High Fidelity платформе. Модули су имплементирани на основу *iSocial* стандарда за модуле виртуелног учења. Стандарди пружају смернице као изградити окружења уз индикаторе за кретање и додавање блокаде како би учесницима нагласили како да се поставе како би пратили лекцију. Истраживање је показао да је виртуелни свет омогућио већи ниво задубљености, тј. имерзије у односу на примере из стварног света.

Што се тиче развоја вештина кроз гејмификацију, Стилианос [125] је истраживао гејмификацију у друштвеним виртуелним световима и њене ефекте на ангажовање ученика. Коришћено је решење засновано на интерактивном искуству, учесници су били у могућности да достигну висок ниво ангажовања интеграцијом метода заснованих на задацима које им је задавао виртуелни агент унутар окружења. Доказали су да се кроз гејмификацију наставног плана и програма унутар друштвеног виртуелног света, отварају нове интердисциплинарне могућности за сарадњу која може обогатити и диференцирати у односу на тренутне методе учења на даљину. Инмакулада и други [126] представили су два начина примене гејмификације користећи виртуелне светове у образовне сврхе. Ученици су прво присуствовали лекцији о „Људским факторима у рачунарству“, а затим су се такмичили у гејмификованој активности. Након првог искуства, већина ученика је имала задовољавајући резултат (60% је имало оцену између 7 и 10). Друго искуство је била лекција о „Структури података“, сам дизајн виртуелног света је заснован на принципима Олимпијских игара, где су ученици радили тимски како би унапредили своје знање и вештине у решавању проблема. Након другог искуства, 66,7% ученика је своје задовољство оценило оценом већом од 6 (на скали од 0 до 10). Мартина и други [127] направили су мултидисциплинарну системску

анализу која укључује дидактику, социологију, психологију и науку о менаџменту на индивидуалном, колективном и системском нивоу у средњој школи користећи платформу за виртуелне светове. Након анализе, употреба виртуелних светова је пружила ученицима нове могућности за ангажовање кроз имерзивније технике учење. Примена кроз учење Скрам методологије развоја софтвера [117].

Пошто су виртуелни светови растући тренд у 2022., у будућности можемо очекивати још пројеката виртуелних светова на нивоу образовних институција. Тренутним решењима недостају карактеристике које захтевају модерни образовни стандард и циљ ове тезе је да се обезбеде бесплатна решења отвореног кода и архитектуре доступна свим универзитетима (наставницима и студентима) користећи савремене технологије и концепте метаверзума [128].

### 2.3.2 Медицинске апликације

Виртуелни светови пружају иновативне начине да се корисници брину о свом здрављу. Терапеути користе ВР уређаје да пруже терапију пацијентима, тако да могу да доживе ситуације које их плаше у безбедном и контролисаном окружењу. Хирурзи такође користе технологију проширене реалности за вођење одређених хируршких процедура, док за обуку могу да користе дигиталне двојника унутар виртуелног окружења. Поред тога постоје апликације које омогућавају вежбање појединачно или у групи [129].

Данас можемо видети различита ВР решења у областима медицине и операцијама на даљину. Сатава је описао *Green Telepresence* [130] систем који омогућава операције на даљину и састоји се од две компоненте, хируршке радне станице и удаљеног радног места. На радној станици се налази 3Д монитор и ручке са повратном спрегом. ВР хируршки симулатор је 3Д апликација која кроз стилизован приказ показује корисницима неколико основних органа унутар човековог стомака. Користећи ВР уређаје и хаптичке рукавице, особа може да научи анатомију из друге перспективе, гледањем унутар и око органа, или може да вежба хируршке процедуре са скалпелом и стезаљкама. Визуелизација базе података ствара 3Д слике сложених медицинских података за додатну анализу.

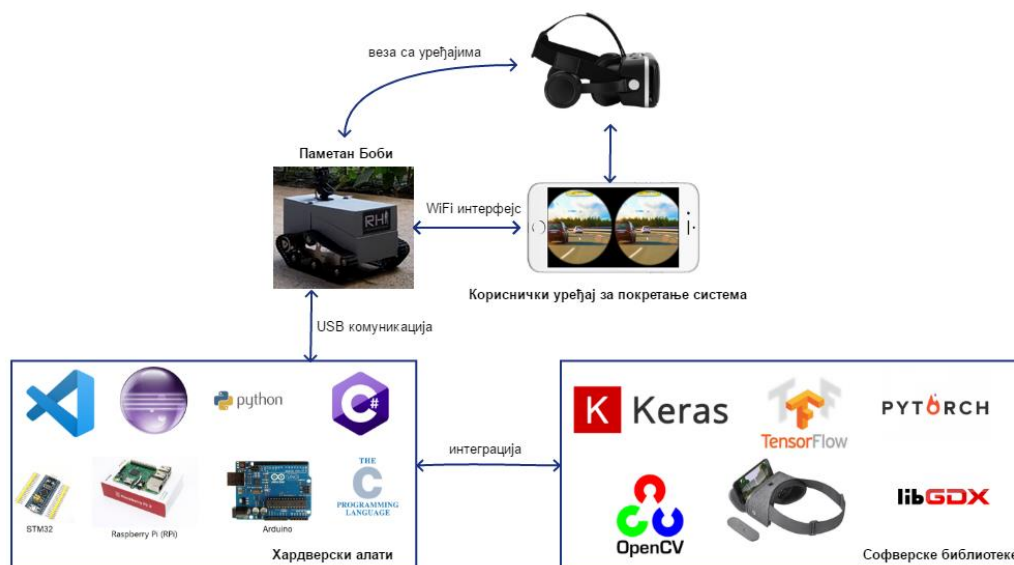


Поред тога, рехабилитациона медицина дозвољава особама са оштећеним способностима да истражују виртуелна окружења (светове) који им иначе нису доступни, омогућава тачну процену и терапију њихових инвалидитета и помаже архитектама да разумеју своје критичне потребе у јавном или личном простору. На основу истраживања које је урадио Сатава како би подржали наведене напредне технологије и болница будућности биће прво потребно дизајнирани и тестирати решења у виртуелном простору уз помоћ лекара и пацијената [131].

### 2.3.3 Примене у роботици

Виртуелне светове можемо повезати са технологијама као што су IoT (*Internet of things*). Помоћу IoT система могуће је повезати виртуелни свет са великим бројем уређаја из стварног света тако да објекти у виртуелном окружењу могу да мењају начин на који функционишу на основу промена из стварног света. Постоје симулације за тренирање система за аутономну вожњу где је могуће симулирати вожњу аутомобила унутар 3Д окружења који се састоји од аутомобила за симулацију (модел), пут за вожњу и осталих учесника саобраћаја, затим се тренира модел базиран на вештачкој интелигенцији који се касније може применити у стварном свету [132].

Постоје решења која повезују индустријске машине и роботе различите врсте са виртуалним светом. Један од примера је робот Паметни Боби (енгл. *Smart Bobby*). Паметни Боби је образовни програмабилни робот за студенте заинтересоване за развој софтвера, електронику, и роботiku. Концепт образовног робота је дизајниран да мотивише младе људе да развију вештине и упознају се индустријом 4.0. Радећи практичне задатке засноване на савременим технологијама као што си вештачка интелигенција и виртуелна реалност ученици могу да тестирају свог робота унутар виртуелног света пре неко ураде тест у реалном окружењу. Развијени модули имају примену у аутомобилској вожњи, проширеној реалности и процесу машинског учења. Корисник може даљински да контролише робота и да стримује видео садржај директно на VR уређаје [133].



Сл. 2.4.3.1 Робот за учење на даљину.

Рад на даљину помоћу робота је један од будућих технолошких трендова. Компаније које се баве производњом имају потребу за решењима која могу да обезбеде контролу над удаљеном локацијом. Главни проблеми су недостатак инжењера и катастрофе које се могу десити због неквалификованих радника и нередовног одржавања. Катастрофе могу уништити скупу опрему и довести компанију до банкрота. Многе операције на лицу места, посебно у производним индустријама, могу бити опасне за људе, због велике сложености задатака. Не постоји ефикасно решење за овај проблем, јер се сав посао обавља на лицу места и од стране оператера који су физички присутни у фабрикама. Постоје системи који се ослањају на 2Д интерфејсе за комуникацију са 3Д светом, овај приступ може отежати њихово коришћење за деликатне задатке. Постоје робот аватари [134, 135] који oponашају активности корисника са удаљене локације. Циљ робот аватара је да се развије роботски систем који ће преносити људске акције на удаљену локацију у реалном времену док елиминише сложеност коју захтева аутоматизација. Такође, управљање роботима у свемиру или унутар домаћинства су још неке идеје које демонстрира Тојота кроз аватар робота Т-НРЗ, којег је могуће контролисати помоћу хаптичких уређаја који покривају цело тело [136].

### 2.3.4 Примене у образовању

Примену учења кроз виртуелно окружења можемо видети у многим доменима, укључујући формалне организације и школе, доживотно учење, корпоративну обуку и лично усавршавање. Деца већ могу да похађају лекције тако што ће се превозити на различита места у различитим временским зонама, користећи ВР технологије. Један од примера је како наставници у Пољској користе ВР игру *Half-Life: Alyx* током предавања [63]. Виртуелна колаборативна окружења за учење су образовна виртуелна 3Д окружења где студенти могу да се крећу (енгл. *roam*) по кампусу како би радили виртуелне експерименте или похађали курсеве засноване на виртуелној реалности, и где би наставници могли да направе и деле сопствене дигиталне наставне материјале [137].

Због Ковид 19 пандемије биле су затворене многе школе чиме се могућност коришћења имерзивних виртуелних светова показало као једна од опција да се надокнаде могућности које пружа настава уживо [138]. Учење и обука унутар виртуелне реалности се појављују као једна од области са највећим интересовањем. Labster [139] је компанија која је специјализована у домену учења кроз ВР окружења, њихове услуге користи више од 5 милиона студената и 3.000 универзитета и средњих школа, углавном у Европи и Америци са циљем да унапреде научно образовање широм света, дизајнирање имерзивних игра која би им помогле студентима да привуку пажњу помоћу елемената гејмификације. Студија објављена у *Nature Biotechnology* [140], открила је да су резултати тестова ученика били 76% виши у лабораторијској симулацији у поређењу са конвенционалним методама наставе. Ангажоване корисника кроз приче (енгл. *narrative design*) или симулације су кључ за задржавање ангажовања ученика [141].

Постоји пример учења кошарке у комбинацији са виртуелним световима, подучавање кошарке у окружењу виртуелне реалности и анализирање фактора који утичу на спремност студената да користе технологију. Истраживање показује да су навике и ставови корисника кључни фактори у учењу коришћењем виртуелних светова, као и да се игре за више играча могу применити у учењу [142].

У блиској будућности, очекује се да ће ВР уређаји бити доступнији и удобнији за ношење током дужег временског периода али ће приступи персоналним рачунарима или мобилним телефонима бити и даље заступљенији код већине потенцијалних корисника, што је од суштинског значаја за земље у развоју. Постоји забринутост од стране просветних радника да ће виртуелно учење бити лоша замена за лекције лицем у лице. Виртуелна колаборативна окружења не треба да буде замена за наставнике, већ додатак за помоћ током држања наставе. Симулације могу да смање трошкове образовања и олакшају обуку, пример је код обуке пилота где се прво вежба на симулатору летења пре него што лети правим авионом [143].

## 2.4 Виртуелна окружења за сарадњу

Предности примене виртуелних окружења у учењу на даљину доносе различите могућности. У виртуелним окружењима студенти, иако су просторно удаљени, не осећају ову баријеру. Пружена је могућност разних симулација и тренинга како би студенти могли из прве руке да искусе како нешто функционише. Интеракција је на највећем могућем нивоу. Пружају се различити облици комуникације, јер је социјализација један од примарних циљева, а могућност дељења садржаја је од великог значаја. Различити облици рада омогућавају боље упознавање својих колега и на тај начин се добија увид у различита решења и различита мишљења за дати проблем. Акцент се ставља на сарадњу. Још једна предност примене виртуелних окружења јесте учење кроз игру. Коришћење рачунарских игара и игара уопште за образовне сврхе нуди различите презентације знања и ствара прилике за примену знања у виртуелном свету, чиме се подржава и олакшава процесе учења [144].

Опште решење за образовање на даљину је систем за управљање учењем (енгл. *Learning management system*, LMS), то је софтверска платформа која се користи за креирање, администрирање и праћење курсева. LMS испоручује и управља свим врстама садржаја, укључујући видео, аудио и документе. LMS укључује различите функционалности као што су рубрике, учење уз помоћ

наставника и инструктора, табла за дискусију и приказ наставног плана и програма. LMS може бити хостован локално или на удаљеном серверу. Свим подацима у систему је могуће приступити помоћу рачунару или мобилног уређаја. Системи које хостује на удаљеном серверу су обично лакши за коришћење и захтевају мање техничког знања. Код локалног хостовања потребно је инсталирати LMS софтвер који ће често бити отвореног кода, што значи да ће корисници набавити (било путем плаћања или бесплатно) LMS софтвер и његов код [145].

Разлика између ВКО и ВОУ, тј. окружења за учење унутар метеверзума јесте у самом дизајну виртуелног света. Решења за учење имају одговарајућу структуру за потребе колаборативног учења (учење одређене теме) док су ВКО решења генералног типа. Током наглог преласка на онлајн учење широм света у марту 2020. године, ученици, родитељи, наставници и администратори невољно су се боље упознали са онлајн наставом и учењем на даљину коју је налагала изолација. Образовна заједница се потрудила да уведе платформе засноване на видео записима као што су *Zoom*, *Microsoft Team* и *Google Meet* да би учионицу преуредили у парадигму пословних састанака за ученике и наставнике затворене код куће [146].

Ако су ученици без задатка током учења на даљину како да их задржимо унутар платформе. Један од могућих одговора је додавање виртуелних светова. Други недостаци овакве наставе је имерзија корисника са самом платформом за рад на даљину кроз примену дигиталних двојника (реплике окружења из стварног света).

Скеуоморфизам је концепт дизајна корисничког искуства који укључује објекте и окружења која личе на стварни свет [147]. Корисници мобилних и рачунарских уређаја често виде примере скеуоморфизма када превуку датотеку на икону фасцикле да би организовали документе или кликну на слику ретро дискете да би сачували датотеке. Постоје скеуоморфне онлајн платформе које су погодне за стварање прилагођеног виртуелног окружења где наставници могу да створе илузију да су у истом физичком простору као и њихови ученици. Шарон у свом раду користи *Teamflow* [148], скеуоморфну онлајн платформу која омогућава додавање намештаја, распореде, позадине, аудио зоне, алате за сарадњу и опције за отпремање слика објеката из стварног света ради прилагођавања виртуелном свету.

Виртуелни свет који је креиран од стране наставника пружа студентима прилику да се придруже у замишљеној колонији на Месецу где ће сарађивати на експериментима за одржавање живота и производњу предмета. За ову јединицу, ученици користе *Bitmoji* за креирање прилагођеног аватара за отпремање на њихов *Teamflow* профил. Аватар се појављује у медаљону у облику круга који се открива када ученик искључи своју видео камеру. Док су у овом виртуелном свету, ученици могу да утишају или укључе свој звук по потреби. Оно што је најважније, ученик може да помера свој медаљон по простору да би сарађивао са колегама из разреда на задатку у аудио простору одређеном за ту сврху. Ученик се прикључује виртуелном свету доласком на Месец који је замишљен кроз постављену позадину кратера. Наставник поздравља ученике, а затим их позива да седну у једну од столица како би приступили собама. Микрофон објекат постављен на подијуму омогућава наставнику да емитује свој глас свима у седишту. *Teamflow* укључује алате које наставник може да користи за креирање више белих табли или дељење њиховог екрана. Ученици могу да управљају лабораторијском станицом које је поставио наставник, и где могу сарађивати на додељеном задатку. Наставник може послати поруку члановима у било ком простору, примери су собе за 3Д дизајн, визуелне уметности, и галерија за излагање пројеката.

Можемо да интегрисемо виртуелна окружења са платформама за учење као што је LMS, пример је *Sloodle* (енгл. *Sloodle Learning System for Virtual Environments*) који је комбинација *Second Life* и *Moodle* платформе [118]. *Moodle* је направљен како би помогао наставницима да креирају курсеве са фокусом на интеракцију и колаборативну конструкцију садржаја. *Moodle* (енгл. *Modular Object-Oriented Dynamic Learning*) је скраћеница за модуларно објектно оријентисано динамичко окружење за учење, представља бесплатан софтвер отвореног кода за организацију наставних ресурса. Прва верзија *Moodle*-а је објављена 2002. године. Данас *Moodle* пројекат води и координира аустралијска компанија коју финансијски подржава мрежа сервисних компанија партнера широм света. *Moodle* је преведен на преко 100 језика и користи се за комбиновано учење, образовање на даљину, и друге активности у школама, универзитетима, радним местима и другим секторима. *Moodle* се користи се за креирање приватних веб локација са курсевима за учење.

*Second Life* [99] је бесплатни клијент програм који омогућава корисницима да буду у сталној интеракцији једни са другима преко аватара. Аватари могу да истражују свет, упознају друге становнике, друже се, учествују у индивидуалним и групним активностима, креирају и тргују виртуелним власништвом. Поред тога, корисници могу да граде, стварају, купују и тргују виртуелном имовином и услугама једни са другима. *Second Life* углавном садржи 3Д садржај направљен од стране корисника. *Second Life* такође има сопствену виртуелну валуту, која се може заменити валутом у стварном свету.

*Sloodle* је бесплатни пројекат отвореног кода који интегрише вишекорисничко виртуелно окружење *Second Life* и *OpenSim* [123] са Moodle системом за управљање учењем. *Sloodle* је модул отвореног кода чија је улога успостављање комуникације и интеракције између објеката у *Second Life*-у и материјала који се преузимају из Moodle-а. *Sloodle* пружа низ алата за подршку учењу и настави у виртуелном свету. Алати су у потпуности интегрисани са провереним и поузданим системима за управљање учењем заснованим на вебу. Објекти који су смештени у *Second Life* виртуелном окружењу преузимају садржаје из Moodle-а чиме се омогућава њихов преглед у 3Д окружењу. Професор Паул Фишвик са Универзитета у Флориди је један од професора који своја предавања држи унутар виртуелних светова коришћењем *Second Life*-а [149]. Корисници *Sloodle*-а могу да присуствују виртуелној настави где могу да се сретну „лицем у лице“ са својим виртуелним колегама из разреда у њиховом аватар облику. Наставник може створити окружење за учење које одговара одређеном предмету. Учесници могу да учествују током презентације док се документи могу гледати у виртуелном свету помоћу виртуелних табли или конвертовати у различитим форматима да би се гледали асинхроно у стварном свету.

Могућности које *Sloodle* окружења нуде су:

- виртуелне библиотеке,
- изложбе у виртуелним музејима и 3Д презентације,
- састанци,
- рад са подацима и виртуелне симулације,
- рад на заједничким пројектима студената и ученика,

- учење уз помоћ ментора, учење страних језика и многе друге погодности,
- преглед оцене у стандардној Moodle књизи за оцене,
- идентитета корисника,
- тестови унутар виртуелног света, интегрисаног са Moodle књигом за оцене,
- праћење освојених поена од стране корисника платформе, итд.

Други примери су OpenSimulator [123] и *Active Worlds*, који представља више повезаних сервера (MetaGalaxy) [150].

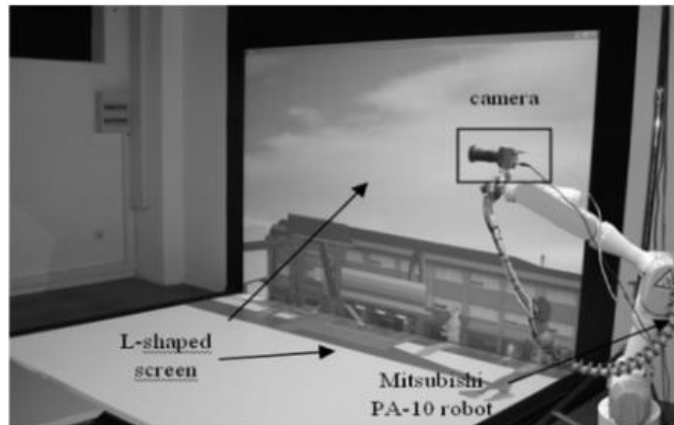
Швебел и други [151] бавили су се предностима ВР технологија у образовању пешака и унапређењу њихове безбедности у саобраћају. У истраживању је коришћен ВР симулатор ходања у саобраћају. На овај начин кориснику је омогућено да унапреди своје знање у безбедном окружењу кроз неколико образовних сесија. Корисник посматра ВР окружење помоћу монитора док је у интеракцији са постољем за ходање који је синхронизован са апликацијом (слика 2.5.1). Апликација је развијена у *Unity* [80] и ради на *Windows* [69] оперативном систему. У раду се помиње могућност преноса ВР платформе тако да се може користити на више различитих локација и бити доступнија већем броју корисника за што боље резултате истраживања. Резултати су показали да након сесија корисник има веће самопоуздање приликом доношења одлука, тј. потребно је мање времена да се стигне до пешачке зоне. Закључак је да ВР окружење има потенцијал да унапреди процес учења, па је потребно радити на овом пројекту како би резултати били уочљивији.





Сл. 2.5.1 VR симулатор за пешачење. (преузето из [151])

Лорезно и други [152] описали су креирањем VR апликација за унапређење емоционалних вештина код деце са аутизмом. За истраживање су коришћена два различита VR окружења. Први имерзивни систем виртуелне реалности (енгл. *immersive virtual reality system, IVRS*) користило је панел у облику слова *L* и камеру за праћење коју контролише роботска рука (слика 2.5.2). Користећи технике компјутерског вида, камера је читала гестове са лица корисника и на тај начин закључивала емоционално стање корисника. Друго окружење било је засновано на радној површини где је веб камера повезана са рачунаром коришћена за праћење корисника. Апликација *Vizard* (слика 2.5.3) која се користи у комбинацији са окружењима имала је два сценарија (прослава рођендана и час у школи). Кроз сценарије је праћено понашање корисника на основу чега су донети резултати о могућим побољшањима понашања корисника. Након истраживања, корисници који су користили IVRS имали су боље резултате. IVRS је омогућио виши ниво доступности корисницима и комуникацију са ликовима у апликацији.



Сл. 2.5.2 IVRS. (преузето из [152])



a)

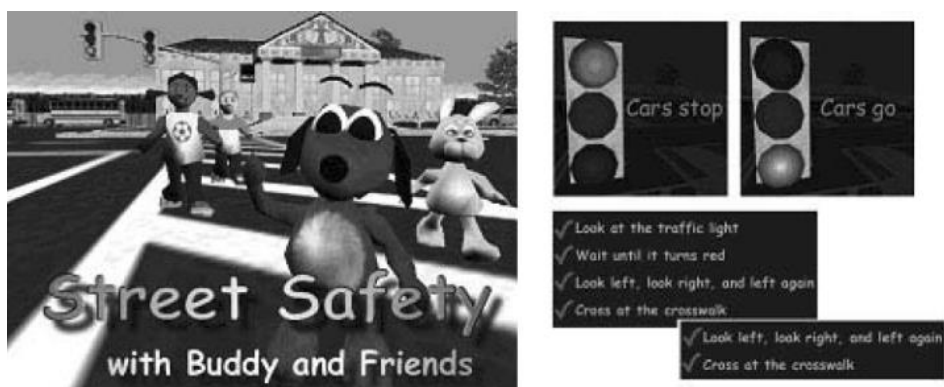


б)

Сл. 2.5.3 Апликација чаробњака са два сценарија, рођенданска забава (а) и час у школи (б). (преузето из [152])

Развој друштвених вештина помоћу ВР технологија описали су Стрикланд и други [153] кроз методологије креирања апликација за учење. Након истраживања, закључци су да апликација мора имати агента са вештачком

интелигенцијом који ће водити корисника и научити га основама апликације. Друга ствар је направити апликацију у првом лицу како би корисник осетио већу припадност виртуелном свету, док је трећа додавање задатака из стварног света. Овакве апликације су се показале као добро решење за образовање деце са аутизмом, јер су користили ликове (анимиране животиње) за заједничко учење и решавање задатака. Виртуелни агент (маскота апликације) их је научио како да пређу улицу или како да препознају безбедну зону за кретање (слика 2.5.4). Корисник је награђиван за сваки успешан задатак, идеја је била да се кроз награде мотивише корисник да изврши следеће задатке. Развој апликације је морао да прође кроз неколико фаза како би се ниво тежине прилагодио корисницима апликације и добио одређени резултат.



Сл. 2.5.4 Безбедност на улици, изглед апликације за подучавање деце.  
(преузето из [153])

Ки и други [154] су описали систем који се користи за образовање наставника кроз виртуелно окружењу где он комуницира са агентима и стварним корисницима. *Microsoft Kinect* се користи за праћење покрета (слика 2.5.5). На тај начин наставник може да се креће у простору и симулира понашање које ради на часу. Резултати су показали да су наставници имали осећај припадности виртуелном свету, међутим коришћење поменутог окружења у периоду од два сата није показало значајније промене. Закључак је да виртуелна окружење имају велики потенцијал који се може побољшати новим технологијама и дужином наставног садржаја.



Сл. 2.5.5 Окружење за образовање наставника. (преузето из [154])

Поред наведених ВР решења постоје примери који искључиво користе виртуелна окружења кроз десктоп рачунар са равним екраном [155]. Слични пројекти су рађени ранијих година у Републици Србији.

#### 2.4.1 Постојећи резултати примене колаборативних окружења у Републици Србији

На Факултету техничких наука у Чачку урађено је истраживање од стране Едина Корићанина [156]. Предмет истраживања је укљученост виртуелних окружења у наставу у циљу повећања мотивације за учење код студената, побољшање наставног садржаја, постизање бољих резултата код студента, као и повећања нивоа евалуације у настави. Узорак у овом истраживању чине студенти студијског програма Информатика на Департману за природно-техничке науке. Анкетирано је четрдесет студената од прве до четврте године, односно 89% од укупног броја студената. Од укупног броја анкетираних студената, 45% студената познаје појам виртуелног окружења теоријски и зна практичне примене, док 47.5% сматра да се виртуелна окружења користе само понекад у току студија. Занимљив податак је да је 55% студената имало искуства са видео играма, 27.5% са виртуелним световим и 72.5% сматра да је образовање најпогоднија област за

примену виртуелних окружења. Као највећу предност примене образовања подржаним виртуелним окружењима 52.5% налази да је учење кроз игру најпогодније, а као недостатке 30% наводи неопходност приступа рачунару и Интернету, док исти проценат сматра да је главни недостатак губитак људског контакта, говора тела, чиме се јавља неразумевање. Применом виртуелних окружења у настави се могу остварити бољи резултати у процесу учења говори податак где је 82.5% потврдно одговорило, док 40% сматра да су могућности за имплементацију виртуелних окружења у образовном систему одличне. Из истраживања се јасно види да су студенти упознати са појмом виртуелно окружење, имали су искуства са њим и углавном су задовољни са ефикасношћу виртуелних окружења. Овај податак даје јасну представу да ће виртуелна окружења у будућности све више и више бити заступљенија у образовању. Поред наведених предности и недостатака примене виртуелних окружења у наставном процесу, студенти су задовољни таквим обликом наставе и сматрају да се могу остварити бољи резултати у процесу учења [156].

На Универзитету у Новом Пазару је спроведено анкетирање о могућностима примене рачунарских игара и виртуелних окружења за учење [157]. У анкети је учествовало двадесет два испитаника (четрнаест студената основних студија и осам студената мастер студија). Студенти су одговорили на шеснаест питања о примени колаборативних светова у учењу кроз игру. На основу резултата примену оваквих алата у настави са оценом 5 оценило је око 57%, 19% са оценом 4, око 12% са оценом 3, близу 7% са оценом 2 и само 5 % студената је оценило са незадовољавајућом оценом. Постојећи резултати показују да међу студентима постоји интересовање за виртуелним окружењима за сарадњу. Поред тога, виртуелни колаборативни светови у великој мери могу утицати на психо-моторне, когнитивне способности и друштвени развој, логику, мисаоне активности, спретност и друге вештине. Овакве методе имају запажену улогу у повећавању концентрације и мотивације ученика, па их је пожељно примењивати у циљу унапређења образовања.

Код развоја друштвених виртуелних светова, први корак је креирање виртуелног окружења а након тога додавање интерактивног садржаја. Уколико се

интерактивност награди биће веће ангажовање корисника, што се уклапа у теорију тока и гејмификацију о чему ће бити више речи у наредном поглављу [158].

## 2.5 Гејмификација

Гејмификација је метод који обезбеђује ефикасан начин учења у контексту ангажовања и мотивације учесника коришћењем елемената дизајна игара, као што су достигнућа, нивои, ранг листе, и решавање проблема. Могућност учења путем играња преко платформе или примена елемената и принципа игре као што су правила, изазови, такмичење и циљеви, као и могућност да индустрија прихвати њен развој су случајеви који можемо да покријемо кроз гејмификацију [11].

Елементи гејмификације су [159]:

- Озбиљне игре и технике развоја
- Едукативни садржај
- Примена из стварног света унутар виртуелног окружења
- Забаван и интерактиван садржај

Гејмификација је примена елемената дизајна игара и принципа игре у другим доменима индустрије који нису уско везани за видео игре. Видео игре омогућавају индивидуално учешће свих ученика и стога могу представљају средство у образовном систему. Штавише, појава гејмификације је један од главних резултата повећане употребе технологије у образовању. Игре су коришћене као облик забаве, али и као средство за учење. Повећана софистицираност видео игара омогућава побољшано искуство забаве и повећану способност играча да задрже информације пренесене током игре. Док су неке игре креиране са циљем образовања, велика већина игара је створена само у забавне сврхе. Рани докази сугеришу да виртуелна колаборативна окружења позитивно утичу код већине корисника и мењају начин на који учимо, а да они који су томе изложени имају мерљив и конкретан пораст академских резултата. Кроз коришћење таквих алата, људи су ангажовани у истраживању језика, игрица, друштвене интеракције и самоусмереног образовања које се може користити као подршка учењу [19].

Гејмификација у образовању често подразумева аспект процеса учења који би могао бити вредан разматрања: учење са дистанце, што значи делимично или потпуно одсуство физичког присуства наставника. Иако област образовања на даљину постоји од 1840-их, потреба за теоријском основом образовања на даљину још увек је у великој мери била неискоришћена све до 1970-их. Наставници су користили кратке игре да би ученицима представили тешке теме, док су се симулирана суђења већ дуго низ година примењују на правним факултетима. Курт Сквајер тестирао је симулацију под називом *Supercharged*, коју су на МИТ-у (енгл. *Massachusetts Institute of Technology*) развили Џон Белчер и Ендру Мекини, да би подучавао о електромагнетним силама [160]. Користећи тестове и кроз сарадњу са групом ученика, открио је да су учесници који су имали интерактивна предавања побољшали своје разумевање садржаја на часовима за 15% у односу на резултате пре теста, док су они који су имали наставу кроз игру побољшали своје разумевање за 28%.

Игре су оригинални алати за учење, начин подучавања ишао је углавном кроз следеће кораке:

- показати како се нешто ради;
- посматрати ученика;
- исправити радње;
- омогућити ученику да усаврши вештину кроз низ вежби и игара које мотивишу понављање.

Међутим, такав приступ је веома тешко скалирати, јер наставник није у стању да са пажњом посматра перформансе свих својих ученика. У последњих двеста година, број ученика се драстично повећао, а традиционални модел наставе је модификован тако да одговара савременим потребама. Када група деце игра видео игру, често постоји жеља код многих појединаца у групи да имају контролер и играју игру, једноставно гледање није довољно. Видео игре омогућавају индивидуално учешће свих ученика и самим тим представљају драгоцену средство у систему образовања. Видео игре и виртуелна окружења представљају фундаментално другачији приступ образовању од традиционалног учења. У анализи разлика између ова два приступа, можемо их поделити у три различите категорије [161]:

- Како разлике у приступу утичу на садржај и његову испоруку.
- Како разлике у приступу утичу на искуство наставника.
- Како разлике у приступу утичу на искуство ученика.

Њихов главни фокус и даље треба да буде усмерен на мотивацију за наставу, креативност, међуљудску комуникацију и бољу примену знања и наставника и ученика. Ово нас доводи до кључних речи данашњег образовног процеса спојеног са технологијом: комуникација и сарадња. Комуникација се не односи само на традиционалну динамику наставник-ученик, већ се такође у великој мери ослања на развој технологије. Једно од најзанимљивијих питања свакако би било како технологија отвара нове могућности за комуникацију, образовање и присуство. Савремени процес образовања неодвојив је од технологије, а технолошка знања која поседују младе генерације (посебно миленијалци и пост миленијалци) могу бити идеална основа за увођење стратегија гејмификације у образовни процес [20]. Све ово, свакако, не занемарује следећа питања која би укључивала и питања дигиталне писмености генерација наставника, традиционалне норме академских контекста у различитим деловима света, као и питање доступност дигиталних алата.

Код популарних видео игра за млађе генерације, додате су временом опције за учење кроз игру. Учење кроз игру укључује лекције које су засноване на дизајну оригиналне игре (решавање загонетке, манипулација објектима). Такође, постоје решења која помажу деци са сметњама у развоју да самостално или уз нечију помоћ унапреде своје социјалне, емоционалне и интелектуалне вештине. Дobar пример је мобилна игра „IF...” [162]. Ова игра служи за развој емоционалне интелигенције код деце (слика 2.6.1). Радња је смештена у непостојеће село коме је потребна помоћ корисника да га обнови. Корисник може креирати свог аватара који укључују изглед и особине. Обављањем различитих споредних и главних задатака корисник помаже околини и заузврат добија савете од својих сарадника. Сарадници су животиње који помажу кориснику и награђују корисника кроз игру. Поред тога, постоји борбени систем где се од корисника тражи да лови створења. Корисник мора да примени одређену стратегију да ухвати створење која укључује различите технике кроз комуникацију. На овај начин корисник унапређује вештине вербалног решавања сукоба. Поред игре „IF...” можемо поменути *Minecraft* [163] и *Roblox*



[164] који су симулација за истраживање и стварање светова. Виртуелни светови као што су *Roblox* и *Minecraft* који су примерно виде игре који имају могућност за додавање образовног садржаја. Roblox је бесплатна виртуелна платформа коју користе деца узраста од 5 до 12 година, где помоћу виртуелних аватара могуће похађати часове енглеског, уз интерактивне тестове правописа и на локацији која је инспирисана само лекцијом. *Minecraft* је виртуелни свет у коме ученици могу да се укључе у изградњу отвореног света кроз геометрију и креативност.

Спој виртуелних светова са блокчејном је нови технолошки тренд који ћемо представити у следећем поглављу.



Сл. 2.6.1 Игра „IF...”, пример учења нових вештине за успешно обављен задатак. (преузето из [162])

### 3. Блокчејн технологије

Друштвени виртуелни свет може бити централизован или децентрализован. Децентрализовани свет је отворени екосистем без централне власти или ентитета који доминира њиме. У децентрализованом систему, треба интегрисати технологију која ће да регулише аспекте дигиталног доказа о власништву, дигиталну имовину, пренос вредности, управљање и интероперабилност. Ако се друштвени виртуелни свет узме као прави наследник Интернета, он мора бити изграђен на отвореним стандардима који повезују сва виртуелна искуства. То значи да ниједан ентитет не може да поседује мрежу виртуелних светова. Овај отворени стандард је у супротности са тренутним пословним моделом многих корпорација које имају строгу контролу наплате и онога што је дозвољено за објављивање. Као једна од технологија за развој децентрализованих система намеће се блокчејн [165].

Блокчејн је децентрализовани систем у коме податке није могуће мењати већ је свака промена видљива између више повезаних рачунара. Блокчејн решења немају централни ентитет и могу имати високу скалабилност [166]. Технологија заједничке књиге (енгл. *shared ledger*), која се обично назива блокчејн, пружа нови приступ који омогућава сарадњу међу људима и организацијама. Дистрибуирано рачунарство значи да се датотека дели на многим рачунарима или серверима. Ако се једна његова копија не поклапа са свим другим копијама, онда подаци у тој датотеци нису важећи. Ово додаје још један слој заштите, што значи да нико осим онога ко контролише податке не може да приступи или промени податке без дозволе било особе која их поседује или целе дистрибуиране мреже, чак и ако се деси да се чувају на серверу који је у власништву друге особе. Власник не може да приступи подацима или их променити без кључева за шифровање који доказује да они поседују. Чак и ако уклоне свој сервер, подаци су и даље доступни на другим рачунарима на којима су ускладиштени [167].

*Shared Ledger* је DDBMS (енгл. *Distributed Database Management System*) [168] који користи криптографију како би обезбедио децентрализовани механизам контроле и консензус за постизање укупне поузданости система у дистрибуираној

мрежи. DDBMS периодично синхронизује све податке у случајевима када више корисника мора да приступи истим подацима, обезбеђује да се измене (ажурирање и брисање) извршене на подацима на једној локацији аутоматски одразе на податке ускладиштене на другом месту. Мрежа користи асиметричну криптографију јавне инфраструктуре за успостављање безбедности, где корисници добијају два кључа: један за шифровање и други за дешифровање. Шифровање значи да подацима ускладиштеним на блокчејну могу приступити само ентитети који имају дозволу за то – чак и ако се подаци чувају на рачунару који припада неком другом, као што је влада, корпорација или неки трећи ентитет. Све информације о блокчејн мрежи постоје као заједничка и децентрализована база података, где су сви записи јавни и проверљиви. Неопходно је да је сваки блок појединачна изјава, а завршени блокови се додају хронолошким редоследом омогућавајући корисницима да прате операције без потребе за централним сервером. Коришћењем блокчејн решења можемо омогућити транспарентност између корисника (ученици и аутори садржаја) и мотивисати кориснике да стварају садржај за ВОУ тако што ће добити одређену количину токена (криптовалуте) за своје ангажовање. Компоненте блокчејн система су приказане на слици 3.1.



Сл. 3.1 Компоненте блокчејн система (преузето из [169])

Паметни уговори (енгл. *smart contracts*) су аутоматизовани програми који служе за извршавање инструкција унутар јавне блокчејн мреже. Развијају се у *Solidity* [170] програмском језику. Приватне мреже користе ланчани код (енгл. *codechain*). Разлика је да паметни уговори управљају трансакцијама, док ланчани

код управља начином на који су паметни уговори упаковани за примену. Паметни уговор је дефинисан унутар ланчаног кода и више паметних уговора може се дефинисати у оквиру истог ланчаног кода. Блокчејн користи паметне уговоре за извршавање команди и преузимање информација из мреже. Све трансакције морају бити детерминистичке. Слично томе, не можете имати паметне уговоре који раде на два различита начина између два члана блокчејн мреже [171].

Највећа разлика између криптовалуте и токена је у томе што су криптовалуте изворна имовина блокчејна као што је BTC или ETH, док су токени изграђени над постојећим блокчејном, користећи паметне уговоре. Сваки токен може представљати другачију вредност на основу врсте, постоје следећи токени: заменљиви, полузаменљиви или незаменљиви. Решење које ћемо представити у наставку рада има за циљ да омогући наставницима и ауторима да креирају јединствене незаменљиве виртуелне објекте (NFT) помоћу ERC-1155 стандарда [172]. ERC-1155 стандард помоћу својих напредних функционалностима као што су групни трансфери се показао као ефикасно решење за блокчејн игре и апликације великих размера. ERC-1155 може да обавља функцију ERC-20 и ERC-721, па чак и оба истовремено. ERC-20 [173] се користи искључиво код заменљивих токена (пример су MANA токени код *Decentraland* платформе) [174], док ERC-721 [175] искључиво за незаменљиве токене. ERC-1155 се још примењује за креирање NFT-ова и ICO-а (енгл. *initial coin offering*) [176].

Произведени објекти могу бити улазнице за виртуелне конференције, сертификати о положеним испитима или 3Д садржај за саму платформу [135]. Такође, свака ставка треба бити усаглашена са стандардом и треба да добије своју јединствену адресу. Паметни новчаник ће омогућити корисницима да чувају своје виртуелне предмете, и било шта што има вредност у виртуелном свету [177, 178].

### 3.1 Типови блокчејн технологија

Блокчејн мреже можемо поделити на два типа: јавни (отворен) и приватни (са дозволама). Јавни блокчејн је децентрализована *peer-to-peer* мрежа где сви

ентитети имају иста права док код приватних мрежа централизовани ауторитети имају контролу над мрежом, тако да је главна разлика између наведена два типа у нивоу приступа који се даје корисницима. Блокчејн концепт са дозволама можемо применити у пословном сектору где би дозволе регулисао конзорцијум који предводи систем са циљем да се обезбеди безбедност података (*Hyperledger*) [179]. Код јавних блокчејн мрежа, *Bitcoin* (BTC) [180] елиминише потребу за централним сервером за обраду трансакција код система за плаћање. Корисници у јавним блокчејн мрежама су одговорни су за валидацију операција унутар мреже. За развој блокчејн апликација, користе се софтверске платформе и оквири (енгл. *frameworks*) који подржавају развој јавних (BTC, ETH, DASH, и NEO) или приватних (*Ripple*, *Eris*, *FireFly*, и *Hyperledger Fabric*) блокчејн система [181]. Свака блокчејн платформа има различите циљеве и карактеристике за развој мреже. Јавне блокчејн мреже омогућавају корисницима да преузму целокупну историју блокчејн на свој уређај, или креирају паметне уговоре. Блокчејн мреже са дозволама дају контролу над мрежом својим власницима (конзорцијум или централизовано једној организацији). Блокчејн мреже са дозволама имају висок ниво флексибилности и могу да се прилагоде различитим нивоима приступа јавности, ауторизацији корисника и извршавају мрежу као самосталан или интегрисан у постојећи систем. Док јавне блокчејн мреже делују у окружењу без поверења, блокчејн мреже са дозволама захтевају виши ниво поверења међу својим члановима и имају предност код брзине преноса. Одабир исправне технологије има бројна разматрања, укључујући приватност података, перформансе, једноставност програмирања и контрола приступа [179].

У наставку упоређујемо *Corda* [182], *Hyperledger Fabric* [183], *Quorum* [184], *Ethereum* [185] и *Bitcoin* [180], разматрања укључују приватност података, скалабилност и лакоћу програмирања [186].

### 3.1.1 Јавни блокчејн

*Bitcoin* се обрађује на јавној мрежи која је уско фокусирана на покретање програма који детаљно приказују трансакције на блокчејн мрежи. *Ethereum* мрежа

је јавна мрежа која пружа флексибилније програмско окружење коришћењем паметних уговора [187]. Паметни уговори су програми написани у програмском језику високог нивоа који ради на технологији дистрибуиране књиге. У случају *Ethereum*-а, паметни уговори се компајлирају у бајткод, а затим се постављају на *Ethereum* мрежу за извршење. Већина *Ethereum* паметних уговора је написана у програмском језику под називом *Solidity* који је створен специјално за ту сврху. *Ethereum* паметни уговори имају повезане рачунске трошкове, који се плаћају за коришћење криптовалуте по имену *Ether* (ETH). Програмери овај трошак на *Ethereum*-у називају „гасом“. Примарни проблем са стварањем апликације на *Ethereum* мрежи је приватност података јер сви подаци се деле са члановима мреже. BTC користи механизам консензуса *Proof of Work* (PoW) [188], ETH [189] је од недавно прешао на *Proof of Stake* (PoS) [190].

Што се тиче других јавних блокчејн технологија, *NEO* [191] користи dBFT (*Delegated Byzantine Fault Tolerance*) протокол, који је модификација PoS протокола.

### 3.1.2 Пословни блокчејн

*Quorum*, *Hyperledger Fabric* и *Corda* су блокчејн решења са дозволама који имају примену у пословним апликацијама. Што се тиче перформанси, дизајн који поседују *Bitcoin* и *Ethereum* остварује стопе трансакција веома ниским док мреже пословних блокова имају знатно веће стопе трансакција [169]. Свака мрежа изграђена на *Corda*, *Quorum* или *Hyperledger* је независни орган који одлучује коме ће одобрити чланство у мрежи. Ово је у супротности са јавним блокчејн мрежама. Да бисте стекли чланство у приватној мрежи, процес се ручно обавља тако што корисници проверавају датотеке као што су документ о оснивању компаније, пасош директора компаније, доказ пословне адресе, итд. По успешном завршетку процеса, дигитални сертификат би био издат са приватним кључем. Према томе, трансакције потписане тим посебним приватним кључем могу потицати само од корисника који поседује тај сертификат.

*Quorum* обезбеђује приватност података нудећи приватне трансакције и обезбеђујући равноправну размену шифрованих порука. Технички, само се хеш приватних података чува на *Quorum* мрежи. *Quorum* је варијанта *Ethereum* кодне базе и креиран је за инвестиционе банке као пројекат отвореног кода. Концепт гаса је наслеђен од *Ethereum*-а, међутим, његова цена је уклоњена тј. гас је бесплатан; ово функционише само зато што *Quorum* не ради у јавној мрежи, стога нема потребе да се обезбеде економски подстицаји људима који највероватније нису повезани са датом трансакцијом.

*Hyperledger Fabric* је део IBM блокчејн иницијативе отвореног кода из 2015. под називом *Hyperledger* пројекат и води је *Linux* фондација, непрофитни конзорцијум за технологију отвореног кода. *Hyperledger Fabric* је блокчејн који постиже приватност података путем „канала“, који омогућавају приватну комуникацију између два или више чланова мреже. Концептуално, целокупна имплементација одређене мреже *Hyperledger Fabric* је као један велики канал (тј. за емитовање података свима), док се приватне комуникације састоје од подскупова ове укупне мреже. *Chaincode* је код *Hyperledger Fabric* врста паметног уговора који представља део кода који омогућава интеракције између више ентитета. Сваки подскуп, назван канал, је попут минијатурне мреже блокова. *Hyperledger* користи базу података (CouchDB или LevelDB) која не подржава широко познати стандард упита базе података, SQL. Насупрот томе, *Corda* подржава SQL упите за своје податке због коришћења релационе базе података, од програмских језика се користе *JavaScript*, *Go* и *Java* [192].

*Corda* ставља нагласак на приватност података тако што дели трансакције само на основу потребе. Рецимо да постоји стотину компанија на приватној мрежи која покреће *Corda*. Ако на пример корисник Б продаје полису у име корисника Н, онда само ове две стране имају приступ подацима те трансакције, док остале компаније не примају те податке у својим *Corda* чворовима. Стога, у овом примеру, неће постојати ниједан чвор на *Corda* мрежи који има приступ свим подацима о трансакцијама. Комплетна база података тј. унија свих трансакција свих учесника током свих времена постоји само у веома фрагментираном облику, подељена на *Corda* чворове мреже различитих компанија. Штавише, ово је огроман подстицај за перформансе, јер се линеарна хоризонтална скалабилност може постићи

захваљујући томе што се сви подаци не деле са свим члановима мреже. Сваки *Corda* чвор треба да сноси само рачунарске трошкове обраде малог дела података; док у јавним мрежама сви чворови морају сносити рачунске трошкове обраде свих недавних података. Постоје две варијанте *Corda*: верзија отвореног кода, бесплатна за личну и комерцијалну употребу, и затворена (плаћена) верзија која је компатибилна са варијантом отвореног кода. Плаћена верзија укључује и прорачуне високих перформанси у великом обиму. Кодирање паметних уговора могуће је у *Kotlin*-у јер је *Corda* изграђена на *Java* технологијама.

### 3.2 Питања скалабилности и безбедност

Дон Тапскот и Алекс Тапскот су се бавили недостацима традиционалног високог образовања [13]. Изазов је да се обезбеди и одржи приватност и безбедност сачуваних дигиталних података од стране академских институција. Када је у питању сајбер безбедност (енгл. *cyber security*), факултети и универзитети су рањиви као и друге организације [193]. Други изазов је валидација података јер у време када су информације променљиве, могућност да се провери тврдња о појединцу постаје драгоцену институцијама (добављачи података).

Што се тиче робусности и сигурности, треба обезбедити боље руковање грешкама током трансакција токена. ERC-20 стандард користи два начина за трансакцију, помоћу функције преноса *transfer*, или комбинација функција *approve* и *transferFrom*. Функција *transfer* омогућава кориснику да пошаље токене на адресу. Међутим, ако корисник жели да депонује токене, онда користите комбинацију *approve* и *transferFrom* функције. Корисник треба преко паметног уговора да повуче токене преко *approve* функције. Након тога, изврши паметан уговор који ће управљати депозитима и опозвати токене преко *transferFrom* функције. Ако програмер блокчејна користи *transfer* функцију за депоновање токена преко паметног уговора, онда ће трансакција успети, али неће бити прихваћена уговором о прихватању, то ће резултирати трајним губитком токена. Модификовањем кода унутар паметног уговора, рањивост се не може поправити, чак и ако је изворни код на који утиче грешка не укључује део око криптовалуте.

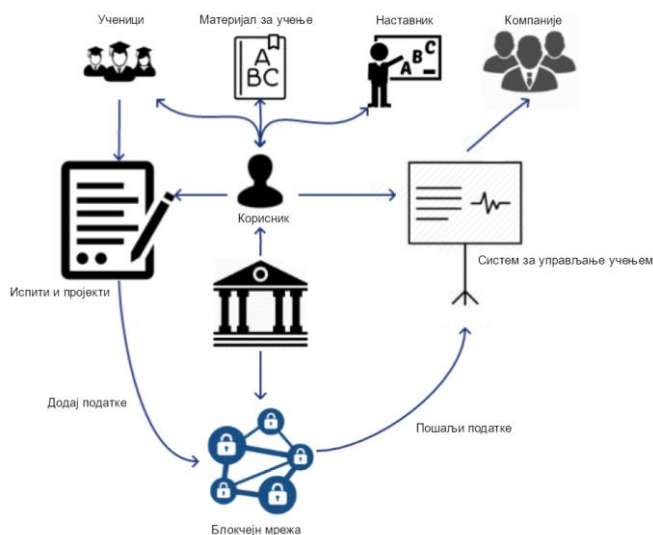


Такође, кад се оваква грешка догоди у централизованом апликацији, она ће се срушити, а корисник ће изгубити податке. Међутим, ако је дошло до грешке у паметном уговору, тада подаци могу бити или испуштени или закључани без икакве промене преузимања. Међутим, стандарди ERC-223 [194] и ERC-777 [195] се фокусирају на безбедност и решавање грешака које поседује ERC-20 тако што омогућава да функција *transfer* избаци изузетак за неважеће трансфере и откаже трансакцију, без губитка података. На основу безбедносних проблема код *Ethereum*-а, постоји алтернативна која се зове NEO. NEO користи блокчејн и дигитални идентитет за заштиту дигиталне имовине. Трећа алтернатива је *Hyperledger Fabric* који подржава високо поуздано, дељено, чување приватности и складиште података. Такође, дели многе сличности са традиционалним системима заснованим на клијент серверу. *Fabric* има модуларну архитектуру и флексибилност. Платформа користи различите системе база података (на пример: *CouchDB*) и технологија за стримовање података како би пружила боље перформансе. Што се тиче програмирања, *Solidity* је најразвијенији језик за развој блокчејн платформи помоћу паметних уговора [170]. *Solidity* је језик са сличном синтаксом (*loosely-typed*) као и *JavaScript*. Главни разлог зашто се *Solidity* користи за развој јесте детерминистичка карактеристика језика [196].

На основу описаних проблема, софтверској архитектури решења који ћемо касније описати у раду, додали смо децентрализован слој идентитета који је базиран на блокчејн мрежи. Циљ је створити децентрализован систем у коме податке није могуће мењати већ је свака промена видљива између више повезаних рачунара. Коришћењем блокчејн решења можемо омогућити транспарентност између корисника и мотивисати кориснике да стварају садржај за ВОУ тако што ће добити одређену количину токена криптовалуте за своје ангажовање. Предложени децентрализован слој идентитета у софтверској архитектури (слика 3.2.1) чува податке о активностима студента (студентски пројекти или испити). Подацима могу приступити привилеговани ентитети унутар блокчејн мреже као што су наставници. Наставници могу послати испит који је могуће дистрибуирати преко блокчејн мреже, у зависности од типа блокчејна (јавни или приватни) дељеном ресурсу имају приступ корисници са одређеним дозволама. Такође, сваки захтев и активност приступа дељеном ресурсу треба да се чувају на блокчејн мрежи ради

ревизије. Такође, развој решења за високо образовање ће захтевати технике развоја пословног софтвера (енгл. *enterprise software*) тј. дистрибуираних апликација (енгл. *dApps*):

- Прикупљање од стране свих ентитета (корисници и добављачи података).
- Приступ личним подацима од добављача података, сваки од захтева за приступ подацима треба да се обради да би се добила дозвола од власника података са децентрализованим протоколом за управљање дозволама.



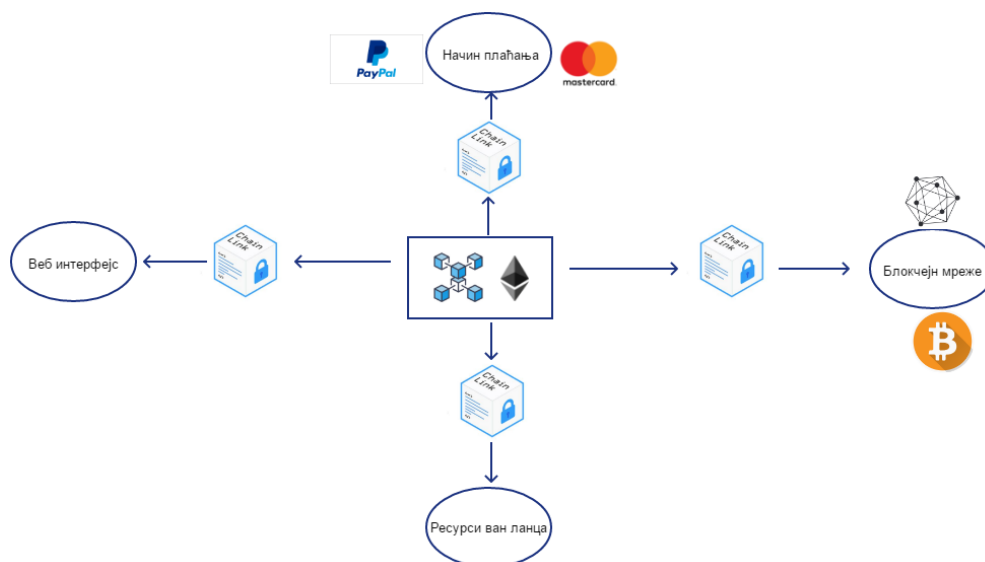
Сл. 3.2.1 Децентрализовани слој идентитета.

Део система за валидацију идентитета можемо да имплементирамо помоћу паметних уговора [42].

### 3.3 Складиштење података

ВР системи и виртуелна окружења немају успостављен систем резервних копија података због огромне количине ресурса потребних за приказивање виртуелних окружења. Дистрибуција садржаја преко *P2P* мреже није ефикасна због брзине преузимања садржаја. Блокчејн решење попут *Filecoin* [197] протокола,

ентитетима унутар мреже омогућавају да учествује као добављач простора. Блокчејн платформе као *Avax* [198], *Polygon* [199] и *ImmutableX* [200] користе се за решавање скалирања које је главни проблем код *Ethereum*-а. Једно од решења су *off-chain* канали [201] као што је *ChainLink* (слика 3.3.1). *ChainLink* [202] је поуздан софтвер за блокчејн мреже који омогућава извршавање паметних уговора на екстерним системима. Овим стварамо децентрализовану инфраструктуру где је могућ приступ критичним ресурсима ван блокчејн ланца, тиме стварамо скалабилан и безбедан начин за додавање података споља. Пример је интеграција традиционалне инфраструктуре универзитета са блокчејн мрежом. Други пример је систем за плаћање путем паметних уговора и *ChainLink* -а који ће омогућити плаћање преко система као што је *PayPal* [203].



Сл. 3.3.1 Децентрализована инфраструктура помоћу ChainLink-а.

Током година постојале су студије о комбинацији блокчејн и ВР технологијама (Б-ВР). Такође, предности блокчејн технологије су помињане у различитим решењима [204]. Истраживачи су успели да користе технологију виртуелне реалности за колаборативне апликације, као што је мобилно телеприсуство при чему су корисници били на удаљеним локацијама. Међутим, студије откривају неколико ограничења. На пример, свако виртуелно окружење је морало бити поново креирано од нуле. Такође, представљено решење је радило само са једним виртуелним простором по сесији без могућности промене простора, иако студије показују да сарадња на даљину може имати користи од интеракција са

више различитих простора. Међутим, увођење такве функционалности мапирања представља архитектонски изазов јер систем који складишти виртуелно окружење треба да буде отпоран, у случају многих захтева, и непроменљив, како би се спречило мењање претходно архивираних простора од стране трећих страна. Ова питања су делимично обрађена у комерцијалним друштвеним мрежама виртуелне реалности [205]. Бектур Рискелдиев и други [206] предложили су модел за складиштење и дистрибуцију простора децентрализоване виртуелне реалности. Предложено решење комбинује неколико виталних концепата: даљинску сарадњу путем виртуелне реалности и децентрализовано складиштење засновано на блокчејну. Пренос података помоћу блокчејна пружа одређене предности: јединствени идентификатор за сваки простор на основу генерисаних хеш кодова; Подаци су непроменљиви јер би промена података изазвала нестабилност ланца. Такође, сви подаци се чувају у *json* формату, а сви учесници сесије су повезани у P2P мрежу [207] користећи WebRTC протокол за комуникацију у реалном времену [208]. Систем генерише блок који садржи адресу до слике фотосфере, гео-локацију и време креирања. Након тога, блокчејн мрежа се ажурира, а корисници преузимају важећи ланац са новододатим блоковима где се могу придружити активним сесијама и сарађивати у реалном времену користећи аудио, видео и 3Д алате у виртуелном простору. Такође, корисници могу да виде све доступне виртуелне просторе сортиране по локацијама и да их изаберу на основу географских координата области на којој се тренутно налазе.

Складишта података о равноправним мрежним чворовима су системи који омогућавају корисницима да реплицирају и деле датотеке преко мреже користећи P2P протоколе као што су *BitTorrent* [209], NNTP [210], *Freenet* [211] или *Mnet* [212]. P2P архитектуре су предложене као скалабилно решење за подршку масовних апликација за више играча као што су виртуелни светови или видео игре. Међутим, примарни изазов за P2P архитектуре састоји се у томе да сваком аватару пружи ажуриране информације о томе који су други аватари његови суседи. Овај проблем је познат као проблем свести унутар виртуелног окружења. Тако да су Руеда и други [213] урадили анализу перформанси у дистрибуираним системима. Резултати евалуације показују да само један метод обезбеђује потпуну свест и најбоље перформансе аватарима. Резултати такође показују да COVER [213]

метода нуди најбоље перформансе система у погледу дефинисаних метрика као што су кашњење и пропусност. Табела суседа или дистрибуирана хеш табела (DHT) [214] се користи за избор добављача података за услуге диспечерства података у дистрибуираним виртуелним окружењима заснованим на P2P мрежама. Ванг и други [215] су сумирали уобичајена понашања аватара и издвојили њихове карактеристике, а затим предложио алгоритам за мерење сличности интересовања да би се чвор поделио у неколико кластера. Они су мерили стабилност кластера у погледу ентропије интереса док конструишу стабилну мрежу суседа за сваки чвор у кластеру. Такође, спроведени су експерименти који симулирају понашање аватара у омиљеној видео игри за више играча. Резултати показују да је предложени механизам постигао значајно ублажавање одлива суседа и смањену размену информација, што побољшава ефикасност преноса у дистрибуираним виртуелним окружењима. Теодор Коцилијерис и други [216] предлажу две дистрибуиране архитектуре за виртуелне светове, лабаву и чврсту чији резултати имају напредак у перформансама у односу на класични клијент-сервер модел у различитим условима оптерећења. Предложена архитектура је заснована на технологији мобилних агената.

Дистрибуција садржаја путем P2P мреже има два главна проблема. Први укључује брзину преузимања, јер је преузимање датотеке са дистрибуираног P2P система за складиштење традиционално било преспоро. Друго, захтева доступност тј. да је садржај дистрибуиран широм мреже без губитака. На пример, *InterPlanetary* систем датотека је заснован на *BitTorrent* протоколу и дистрибуираној хеш табели. Ова технологија омогућава дељење података на другим рачунарима, стварајући глобални систем датотека са адресибилним садржајем где се жељене датотеке могу врло брзо преузети користећи *BitTorrent* протокол [209]. Међутим, он такође има недостатке који захтевају да рачунар са заједничким подацима остане на мрежи. Постоје децентрализована складишта датотека у облаку која елиминишу неке од недостатака. У овом случају, садржај се хостује на рачунарима који нуде свој простор на чврстом диску користећи услуге плаћања, тако да корисник не мора да остане на мрежи. Примери су, *Sia* [217], *Storj* [218], *ETH Swarm* [219], итд. SQL базе података не могу бити дистрибуиране због CAP теореме (енгл. *Consistency, Availability* и *Partition Tolerance*) [220]. Да би база

података била дистрибуирана, морамо жртвовати или доследност или доступност. NoSQL базе података бирају доступност уместо конзистентности где сви чворови базе података у мрежи постају конзистентни након неког времена. Примери су MongoDB [221], *Apache Cassandra* [222], и RethinkDB [223], итд. NoSQL решења су брза, скалабилна али нису отпорни на грешке (*Byzantine-proof*) [224], тако да злонамерни чвор може да уништи систем базе података. *BigChainDB* решење тврди да решава проблем складиштења података и брзине са значајним капацитетом података и брзим трансакцијама [225].

*Ethereum* се показао као најбоље решење за интеграцију са виртуелним окружењима и најпопуларније је блокчејн решење за израду NFT-јева тако да ћемо ову технологију интегрисати унутар наше прототип платформе [187]. Док што се тиче скалабилности и чувања података користићемо традиционалне базе података које ће бити дељене између више ентитета и клијент-сервер модел. Традиционалне ВР платформе са централизованом мрежом имају предност у односу на платформе засноване на блокчејну у брзини дистрибуције садржаја уколико платформа има мали број корисника, док ће решења заснована на блокчејну имати предност кроз виртуелно тржиште за куповину садржаја са токенима. Остали делови блокчејн система биће описани кроз предлог софтверске архитектуре и Веб 3.0 концепт.

### 3.4 Веб 3.0

Веб 1.0 је прва верзија Интернета која је омогућавала само читање информација са веб странице, док је Веб 2.0 омогућио додавање података од стране корисника. Веб 1.0 садржи странице и листе, сличне књизи, док Веб 2.0 пружа нелинеарне информације (пример су социјалне мреже) [226]. Следећи корак је Веб 3.0 концепт који има за циљ да Интернет учини децентрализованим [227]. Треба напоменути да је термин Веб 3.0 често коришћен за описивање семантичког веба. Семантички веб (енгл. *semantic web*) је концепт израде универзалног медијума за размену информација и проширује веб стандарде употребом језика за означавање и сродних алата за обраду [228]. Данас је инфраструктура на којом раде веб сајтови или места за рад на даљину у власништву одређених организација које су

контролисане прописима истих. Друге важне компоненте које се често користе у вези са техничком инфраструктуром Веб 3.0 решења су да је систем отворен, што значи да је углавном изграђен на софтверу отвореног кода, без поверења и без дозволе. Без поверења значи да се интеракције и трансакције могу одвијати између две стране без потребе за трећом страном од поверења. Ово није нужно био случај на Веб 2.0 јер није било гаранције да власник медија који се користи за интеракцију или трансакцију није манипулисао садржајем. Дobar пример Веб 3.0 трансакције без поверења би било слање новца директно другој особи без коришћења онлајн размене или новчаника који се чува на централизованом серверу. Читав процес прављења трансакције контролише алгоритам и енкрипција кроз блокчејн мрежу, а шанса да било ко може да уђе и поремети је скоро немогућа [167]. Без дозволе значи да ниједна страна у трансакцији или интеракцији не мора да тражи дозволу од треће стране као што је провајдер услуга или влада пре него што се то догоди.

*Oracle* (блокчејн пророчишта) су ентитети који повезују блокчејн са екстерним системима. *Oracle* пружа начин да децентрализовани Веб 3.0 екосистем приступи постојећим изворима података, застарелим системима и напредним прорачунима [229]. Неке организације покушавају да креирају законе који ће им омогућити да задрже одређени ниво контроле унутар Веб 3.0 система. Ово укључује назнаке Владе Уједињеног Краљевства да жели да регулише могућност грађана да шаљу шифроване поруке са краја на крај (енгл. *end-to-end*) [230]. Тренутни предлог Веб 3.0 концепта због чињенице да може бити изграђен на блокчејну који може бити веома енергетски интензиван, доприносећи емисији угљеника и климатским променама. Процењује се да *Bitcoin* троши приближно исту количину енергије као многе развијене земље [231]. Ипак, друге блокчејн мреже попут оних који су изграђени на алгоритмима доказивања улога, а не на доказу рада [190], нису толико енергетски интензивне [232].

#### 3.4.1 Веб 3.0 концепти

Децентрализована аутономна организација (енгл. *Decentralized Autonomous Organization*, DAO) је Веб 3.0 концепт који описује групу, компанију или колектив

koji je obavezan pravilima i propisima kodiranim unutar blokčejn mreže. DAO je koncept koji se ponaša slično organizacijama u smislu da su članovi obavezni da poštuju skup pravila i propisa. Razlika je u tome što su pravila regulisana pametnim ugovorima zasnovanim na blokčeјnu koji mogu аутоматски да извршавају функције као што је плаћање и када се одређени услови испуне [233]. На пример, у продавници заснованој на DAO-у, цена свих артикала, као и детаљи о томе ко ће добити исплате од пословања, одржаваће се на блокчејну. Акционари у DAO организацији би могли да гласају за промену цена или ко ће добити новац. Међутим, ниједан појединац, власник објекта или сервера не може променити правила без дозволе за то. Оно што је најважније код ово концепта је да се у потпуности елиминишу потребу за ентитетима (енгл. *man in the middle*) потребним за вођење организације, ентитети могу бити банкари, адвокати, рачуновође или станодавци [234].

*Ethereum* блокчејн платформа омогућава креирање паметних уговора на безбедан начин, тако да ниједна појединачна страна не може поништити одлуке других. Ово се првенствено постиже коришћењем два аспекта блокчејн технологије, енкрипције и дистрибуираног складиштења. Овим приступом ограничавамо организацијама да наметну своју вољу, то такође може створити ефикасност и дати корисницима већу контролу над начином на који се њихови подаци користе. Такође, нова верзија *Ethereum* блокчејн платформе је енергетски ефикасна [185] и користити 99,95% мање енергије. Неке од *eco-friendly* криптовалута су: IOTA, *Chia*, *Cardano*, *SolarCoin* и друге [235].

Блокчејн и виртуелна реалност (Б-ВР) су технологије које се могу на различите начине допуњавати. Децентрализовани системи као што је блокчејн пружају тренутни и непроменљиви пренос података ради побољшања перформанси ВР платформи [165]. Растућа популарност виртуелних светова доводи до широке употребе дистрибуираних виртуелних окружења великих размера (енгл. *Distributed Virtual Environments, DVEs*). Системи за управљање дистрибуираном базом података (енгл. *Distributed Database Management System, DDBMS*) представљају уређаје за складиштење који нису сви прикључени на једну процесорску јединицу, већ су раширени широм мреже. Ово решење би могло да обрађује огромне количине структурираних и неструктурираних података. Такође, ово је веома



важно јер подаци који се чувају у централизованом систему могу да смање његов раст и одрживост преласком на децентрализоване систем [236], [237].

DAO, *Ethereum* платформа, и Б-ВР као Веб 3.0 концепти формирају идеју о метаверзуму. Идеја метаверзума је да створи имерзивнију и друштвенију верзију Интернета. Користиће технологију као што је ВР корисници имају могућност да комуницирамо на природније и имерзивније начине – на пример, коришћењем виртуелних рукавица можемо да манипулишемо објектима, и коришћењем гласова да дајемо упутства машинама или разговарамо са другим људима. На много начина, метаверзум се може сматрати интерфејсом кроз који ће људи радити са Веб 3.0 алатима и апликацијама.

#### 3.4.2 Примери Веб 3.0 апликација

Најпознатије Веб 3.0 апликације на основу различитих категорија су:

- *Uniswap* [238] је децентрализована размена криптовалута изграђена на *Ethereum* блокчејну. Свако може постати члан ко поседује UNI токене, који даје право гласа на начин на који се организација води и администрира.
- *Everledger* [239] је ланац снабдевања заснован на блокчејну.
- *BitDAO* [240] је децентрализовани инвестициони фонд направљен да омогући свакоме да купи удео у Веб 3.0 стартаповима и иницијативама. Власници токена имају прилику да гласају о томе како се управљани капитал распоређује на пројекте које подржава фонд.
- *LexDAO* [241] има за циљ да створи паметне уговоре који могу да обављају правне услуге и бави се изградњом блокчејн алата који могу да аутоматизују аспекте правних услуга, укључујући арбитражу. С обзиром да многа DAO решења послују у сивој зони законитости, овакве услуге могу бити неопходне у будућности.
- *Pleasr* [242] је мрежа уметника и љубитеља уметности који улажу у NFT уметничка дела. Пројекат експериментише са идејом „fractional”

власништва над уметношћу, јер сви чланови имају удео у растућој колекцији.

- *Diaspora* [243] је непрофитна и децентрализована друштвена мрежа.
- *Steemit* [244] је блогерска и друштвена платформа заснована на блокчејну.
- *Augur* [245] је децентрализовано тржиште берзе.
- *Opensea* [246] је тржиште за куповину и продају NFT-ова, изграђен на *Ethereum* блокчејну.
- *Sapien* [247] је децентрализована друштвена мрежа, изграђена на *Ethereum* блокчејну.

### 3.4.3 Веб 3.0 проблеми

Идеје које су се створиле око концепта децентрализованог и аутономног веба, NFT-а и метаверзума није још дошла до свог пуног потенцијала. На крају крајева, NFT се продају на основу њиховог потенцијала да омогуће дигиталној имовини квалитете као што су оскудица и јединственост. Виртуелни свет је виртуелна реалност у којој живимо животе у имерзивним окружењима. У таквом свету, да би било шта имало вредност треба да буде јединствено, иначе би се створила бесконачна количина дупликата. Оно што недостаје је начин стварања праве вредности. Са првом итерацијом Интернета, може се рећи да се то није догодило све до изума оглашавања са плаћањем по клику (енгл. *pay-per-click*). Пре тога, коришћену су концепти комерцијалних Веб страница, а касније и рекламирање преко банера. Иако су оба приступа испунила своју сврху да омогуће комерцијалним организацијама да успоставе присуство на вебу у настајању, то није довело до општег прихватања Интернета као канала за пословање и испоруку [248]. Постоје велики број области у којима можемо применити Веб 3.0 и виртуелне светове. Иако се може чинити да су сви фокусирани на прављење NFT или криптовалута, без анализа ових технологија не можемо наћи начина да знамо која би права иновација могла да се развије коришћењем ових концепата. На пример ако ови концепти могу да реше потешкоће око инфраструктурних захтеви за покретање

постојећих организационих и финансијских система, и ослањањем на поверење, онда би то могло да покрене нову технолошку револуцију у индустрији [249].

### 3.5 Примена блокчејн технологија

#### 3.5.1 Примена у економији

Блокчејн, криптографија и децентрализоване финансије представљају визију технолошких решења која би могла да олакшају глобалну и функционалну економију за развој виртуелних светова коришћењем веб 3.0 концепта. Децентрализоване финансије, или DeFi [250], први пут поменут у разговору на *Telegram* платформи током 2018. Тада се група софтверских инжењера и предузетника размењивали идеје за аутоматизацију финансијских услуга заснованих на блокчејну које могу да замене традиционалне банкарске системе. Крипто новчаник омогућава кориснику да размењује дигиталну имовину, узимају кредите и купује осигурање, између осталог [251]. Више од 10 милиона корисника преузело је MetaMask, један од најпопуларнијих дигиталних новчаника који се користе за приступ овим мрежама. Основе децентрализованих финансија могу се видети у *Bitcoin* белој књизи (енгл. *white book*) из 2008. године, која је поставила темеље за јединствен систем виртуелног новца. Децентрализоване финансије су дефинисане чињеницом да могу бити представљене као имовина која је у суштини децентрализована књига, са трансакцијама ускладиштеним у базама података на многим различитим рачунарима. Криптографија се користи да би се обезбедио један запис који се налази на различитим базама података, а рачунари воде евиденцију једни о другима како би потврдили да није мењан. Скоро је немогуће да било ко промени правила виртуелног новчића јер ниједан ентитет није надлежан. У том случају, та средства ће завршити у крипто новчанику захваљујући аутоматским програмима познатим као паметни уговори. Као резултат тога, биће узет проценат из трансакције [250]. DeFi можемо описати кроз неколико различитих слојева:

- Слој поравнања (слој 0): Слој поравнања служи као основа за све наредне DeFi трансакције. Састоји се од дигиталног новца или криптовалуте и јавног блокчејна. Овај новац се користи за поравнање трансакција на DeFi апликацијама и може, али и не мора бити размењен на јавним тржиштима. Слој поравнања укључује *Ethereum* и његов изворни токен *Ether*, који се размењује на крипто берзама. Токенизовани облици средстава, као што су долар, или токени који су дигитални прикази средстава из стварног света, могу се користити на слоју поравнања.
- Слој протокола: Софтверски протоколи су унапред одређени стандарди и смернице које регулишу одређене процесе или активности. Слично организацијама у стварном свету, ово би био скуп принципа и пракси које су сви актери у одређеној индустрији пристали да поштују као услов пословања у том сектору. DeFi протоколи су интероперабилни, што имплицира да многе организације могу да их користе за изградњу услуге или апликације у исто време. Слој протокола обезбеђује ликвидност DeFi екосистему. *Synthetix*, платформа за трговање дериватима изграђена на Ethereum-у, је пример DeFi протокола. Користи се у креирању дигиталних реплика ствари из стварног света [252].
- Апликациони слој: Слој апликације је место где се чувају програми окренути корисницима. Већина апликација блокчејн екосистема, као што су услуге позајмљивања и децентрализоване размене криптовалута, смештене су испод овог слоја.
- Слој агрегације: Агрегатори интегришу бројне апликације из претходног слоја како би пружили услугу инвеститорима у слоју агрегације. На пример, они би могли да омогуће непрекоран трансфер новца између различитих финансијских инструмената како би се максимизирао профит. Такве радње трговања захтевале би много документације и координације у физичкој поставци. С друге стране, структура заснована на технологији требало би да омогући трговцима да брзо прелазе између различитих провајдера. Задуживање и позајмљивање је пример услуге на слоју агрегације. Новчаници криптовалута и банкарске услуге су други примери.

### 3.5.2 Примена у образовању

Што се тиче примене блокчејна у образовању, постоје решења за проверу профила студената на основу академских постигнућа и кредитна платформа за високошколске установе. Европска унија је такође показала интересовање за коришћење блокчејна за образовање анализирајући технологију и могуће ризике за личну и академску обуку. Греч и Камилери [253] закључују да употреба блокчејна у образовном сектору још увек није довољно развијена, али има обећавајућу будућност. Антонио Бартоломе и други [14] су се бавили основама и развојем блокчејн технологија у специфичном образовном сектору. Туркановић и други [254] предлажу EduCTX решење које представља кредитну платформу за високо образовање засновану на блокчејну. Циљ EduCTX-а је стварање транспарентне и напредне форме система високог образовања. EduCTX прототип је заснован на *Ark* блокчејн платформи отвореног кода [255]. На основу *P2P* мреже, EduCTX ће обрадити и управљати EduCTX токенима, који представљају бодове које студенти добијају за завршене курсеве. Друго решење је *Disciplina* пројекат [256], решење за чување записа у блокчејн мрежи. Циљ пројекта је креирање алгорита за претрагу студената по областима стручности. Такође, платформа пружа једноставан интерфејс између ученика, наставника и менаџера људских ресурса. *Disciplina* блокчејн се упоређује са платформама ETH, NEO (нискобуџетне трансакције) и EOS (POS консензус) и њихова карактеристика додатно пружа мрежу поверења за успостављање аутентичности и приватног ланца.

### 3.5.3 Примена у индустрији забаве

У индустрији забаве најзаступљенији су NFT-ијеви (енгл. *nonfungible tokens*) [257] и иницијалне понуде кованица (енгл. *initial coin offerings, ICOs*) [176]. NFT-ијеви су виртуелни токени који користе блокчејн технологију за тражење доказа о власништву над вредним стварима као што су дигитална уметничка дела и виртуелна имовина. Помоћу NFT технологије могуће је да се направи јединствена

дигитална роба за колекционарство и другу примену. NFT-ови су намењени да буду јединствени и да имају само једног власника. ICO су метод за развој пројеката и често се користе за прикупљање средстава за иницијативе софтвера отвореног кода. ICO инвеститори добијају јединствени токен у замену за новац, који може да им омогући приступ јединственим карактеристикама софтвера. Стартапови издају своје крипто жетоне и продају их у замену за BTC [180] или ETH [185]. ETH платформа се обично бира за развој ICO платформе. ICO засновани на блокчејну циљају уметнике, гејмере и онлајн заједнице који су заинтересовани да остваре приход кроз изградњу и продају ВР и 3Д искустава [258, 259]. Такође, ICO је алтернативни процес прикупљања средстава у којем предузећа издају своје крипто жетоне и продају их у замену за *Bitcoin* или *Ethereum*. *Ethereum* се углавном бира за развој ICO платформе. Популарни ICO пројекти су: CEEK [260], *The Deep* [261], *Somnium Space* [262], MATERIA.ONE [263], VIBENHub [264] и *Sandbox* [265].

Што се тиче индустрије видео игара и интеграције блокчејн технологија, прво су настале игре за више играча као корак према друштвеним виртуелним световима, може их представити као централизоване платформе. Централизовани метаверзум контролише надлежни орган где су лични подаци корисника под контролом тог овлашћеног ентитета. У централизованом виртуелном простору, овлашћена особа или група преузима потпуну контролу над платформом и одређује како она функционише. Власници централизованог виртуелног простора имају могућност да избришу или цензуришу податке играча. Међутим, блокчејн значајно мења како ће игре за више играча функционисати. Његови случајеви употребе су токенизација предмета за игре и могућност трговине њима како би зарадили новац у криптовалутама, што се показало као једно од решења код земаља у развоју. У зависности од специфичних правила игара, играчи могу или да продају своју имовину или да је сакупљају токене док не добију награду [177]. Познате компаније у свету виде метаверзум концепт као будућност индустрије забаве тако да је *Disney* покренуо посебан сектор за развој метаверзум стратегије који ће се бавити интеграцијом ВР искуства унутар паркова који неће захтевати додатну опрему (HMD) за посетиоце и понудом NFT-ева из *Disney Golden Moments* колекције анимираних ликова [266]. Постоји већ неколико стартапова који кроз друштвене платформе, музичку, филмску и индустрију видео игара раде на интеграцији

метаверзум концепта. Описаћемо тренутно активне блокчејн и VR пројекте који се користе за потребе развоја виртуелних светова унутар индустрије забаве [267].

СЕЕК је дистрибутер VR садржаја. Нека од VR искустава укључују 360 степени видео записе као што су музички и спортски догађаји. Ови догађаји се могу гледати помоћу VR наочара док су физички одвијају на некој другој локацији. Такође, коришћење даљинског приступа ова врста решења може да омогући неограничену количину виртуелних карата. СЕЕК платформа за дистрибуцију је компатибилна са паметним телефонима, паметним телевизорима, десктоп рачунарима, и VR уређајима. СЕЕК има сопствени бренд криптовалуте, СЕЕК токени су усаглашени са ERC-20 и омогућавају корисницима да их користе за различита искуства као што су гласање, ангажовање корисника у такмичењима и куповина виртуелне робе на самој платформи. Такође, свакој виртуелној ставци је додељена Ethereum адреса заштићена коришћењем јединственог криптографског потписа токена. СЕЕК има систем за креирање токена (енгл. *Coin Cast*) који корисницима из индустрије забаве даје приступ стварању прилагођених кованица којима може да се тргује у оквиру саме платформе. Користећи овај систем, уметник може да креира карту за догађај и обезбеди нови ток прихода. Корисници могу да зараде новчиће креирањем дигиталног садржаја као што је креирање садржаја за образовање или за промоцију платформе на друштвеним мрежама. Програмери софтвера могу да зараде СЕЕК токене користећи софтверске библиотеке које омогућавају креирање виртуелних светова. За квалитет звука, СЕЕК има 4Д аудио технологију са наменским дигиталним процесором сигнала који комбинује хаптичку повратну информацију и 3Д звук заснован на визуелном рендеровању. СЕЕК поседује виртуелни свет под називом СЕЕК City који укључује окружења као што су позориште или спортски стадиони [20]. *Decentraland* је платформа отвореног кода вођена од стране корисника којој може да се приступити помоћу VR уређаја преко веб претраживача. Ово је виртуелни свет којим управља DAO, где административне и управљачке одлуке доносе заинтересоване стране на демократски начин. Свако ко поседује токен платформе (MANA), може да учествује у процесу, а платформа је постала популарна међу глобалним брендovima као начин да се допре до дигиталне публике. Користи дистрибуирано складиште упарено са блокчејном, континуираном непроменљивом књигом трансакција која

обезбеђује испоруку виртуелног простора корисницима. Корисници *Decentraland*-а могу да истражују садржај који су генерисали други корисници или да креирају сопствена искуства и препродају их на платформи. *Decentraland* је креиран коришћењем A-Frame веб оквира отвореног кода за изградњу VR искуства на веб претраживачима. *Decentraland* се ослања на WebGL технологију и подржава производњу виртуелних објеката у развојном окружењу као што је *Unity*. *Decentraland* је конструисан на *Ethereum* мрежи са паметним уговорима и консензус алгоритмима на децентрализованој P2P мрежи која се користи током трансакција између виртуелних својстава и монетизирајућег имерзивног садржаја. Блокчејн се користи за заједничко управљање земљиштем. *Decentraland* користи *BitTorrent* [209] и *Kademlia* DHT [268] за складиштење виртуелне земље [174]. *Cryptovoxels* (*Voxels*) је виртуелни свет изграђен над *Ethereum* мрежом. Овај виртуелни свет се састоји од 3Д инфраструктура попут путева, зграда, земљишта, итд. Корисници могу поседовати земљишне парцеле и градити структуре на њима. *Ethereum* се може користити за куповину земљишних парцела. Корисници могу да граде, продају или изнајмљују своје земљишне парцеле. Они такође могу да додају уграђују аудио, видео и слике на своју парцелу. *Cryptovoxels* користи *babylon.js* [90] да обезбеди високе перформансе приказивања у оквиру веб претраживача.

*Sandbox* [265] је софтвер који ради на *Ethereum* мрежи који управља децентрализованим виртуелним светом видео игара. У суштини, *Sandbox* је игра у којој играчи могу да купују дигиталне парцеле, назване LAND, и стварају искуства које могу да деле са другим корисницима. Поред LAND токена који су NFT типа, *Sandbox* има још два изворна токена који управљају операцијама у његовом метаверзуму:

- SAND токени – Користе се за обављање трансакција, укључујући куповину земљишта, интеракцију са садржајем који су генерисали корисници и учешће у управљању децентрализованом аутономном организацијом (DAO).
- Токени имовине (енгл. *Assets*) – NFT-ови који представљају ставке у виртуелном свету као што су опрема за аватаре и садржаји које се



користе за насељавање виртуелног земљишта. Њима се може трговати на *Sandbox* пијаци дигиталног садржаја.

*Ethereum* се користи како би прати власништво над дигиталним земљиштем и NFT садржајем. Програмери су такође слободни да иновирају у оквиру *Sandbox* платформе тако што ће дизајнирати анимацију и интеракције које доживљавају на њиховим виртуелним некретнинама користећи неколико алата:

- *Voxel Editor* – Корисници могу да креирају вокселе, најмању јединицу тродимензионалног дизајна, да дизајнирају и оживе креације попут флоре, фауне и опреме оријентисане на аватаре
- *Game Maker* – Алата који омогућавају корисницима да граде 3Д игре на свом земљишту, користећи 3Д имовине које су креирали или купили на тржишту

Корисници могу да отпреме своје креације на тржиште *Sandbox*, где се прво региструју као ERC-1155 [172] токени на *Ethereum* блокчејн ланцу. Ова имовина се затим може купити и продати помоћу SAND-а.

*Vibehub* [269] је платформа за креирање виртуелних простора у којима се могу обављати различите активности, од маркета до пословних састанака. *Vibehub* обезбеђује 3Д фото-реалистичне интерне холограме помоћу технологије за скенирање целог тела и са могућношћу да скенираног корисника потпуно прикаже у прилагођеним ВР окружењима. Сличне принципе холограмске технологије можемо видети у решењу скенера тела које се заснива на фотограметрији са могућношћу додавања скенираног 3Д објекта у ВР окружења. Ово омогућава корисницима да посматрају фото-реалистични приказ аватара и комуницирају са другим холограмима. Интерна валута *Vibehub* платформе је ERC-20 токен који корисници могу да користе за куповину и продају искустава унутар продавница, а за микротрансакције се не наплаћују накнаде за гас због функционисања ван ланца (енгл. *off-chain*). Овим токеном се може трговати на бројним берзама као што су *Binance*, *Ether Delta*, или *HitBTC* размене криптовалута. *Vibehub* ће омогућити корисницима да купују или продају виртуелне производе укључујући наступе живо и музику. Пошто је платформа децентрализована, корисник може да користи услугу новчаника и друштвене функције коришћењем блокчејн мреже. Такође,

*Vibehub* омогућава корисницима да монетизују ВР садржај попут дизајна, модела, сцена, музике или видео записа [257]. *Somnium Space* [262] је платформа за изградњу ВР света која подржава виртуелну трговину некретнинама. Изграђен је на блокчејн архитектури и има сопствену валуту у апликацији под називом *Somnium Cubes* која се може користити за куповину некретнина. Некретнине на платформи могу се користити за ствари као што су друштвене мреже, е-трговина, игре и друго. У поређењу са осталим решењима не користи вокселизовану графику и окружења визуелно изгледају реалистичније и налик модерним видео играма. Слично решење је *Mona* [270], ову платформу највише користе ствараоци садржаја (архитекте) за потребе изградње реалистичних 3Д окружења за метаверзум платформе.

*Fortnite* је масивна онлајн игра где је током 2020. године, 12,3 милиона људи присуствовало виртуелном концерту познатог музичара у оквиру *Fortnite* виртуелног окружења, што га чини највећим догађајем у игри икада [271]. *Facebook* се такође позиционира према метаверзуму са својим ВР светом, *Horizon Worlds*. *Facebook* описује *Horizon* као „друштвено искуство унутар ВР окружења“ [272]. *IMVU* је велика 3Д друштвена мрежа заснована на аватарима где корисници могу да комуницирају са пријатељима, купују, друже се на скуповима и зарађују прави новац креирањем виртуелних производа. Више од 7 милиона корисника ове платформе проведе у просеку 55 минута дневно унутар *IMVU* света [273].

#### 3.5.4 Дигиталне некретнине

Многе компаније за некретнине користе виртуелне светове како би приближиле имовину коју имају у понуди потенцијалним купцима кроз виртуелне обиласке. Поред тога, у виртуелне некретнине улажу познате личности и компаније које намеравају да купљене парцеле развију за различите сврхе [274]. На примерима *Decentraland* или *Sandbox* цена парцела експоненцијално расте. Хотели већ користе ВР као маркетиншки алат стварајући имерзивна искуства која привлаче нове посетиоце. Два главна разлога због којих се купује имовина унутар мрежа виртуелних светова су виртуелне куће или просторија за рад. Други разлог је као

инвестиција, многи инвеститори сада купују дигитално земљиште јер једноставно верују да ће бити много вредније у будућности, када све више људи буде желело да постане део виртуелног окружења. Куповина земљишта се обично врши помоћу криптовалута. Примери су *Ethereum*, *SAND* (валута повезана са *Sandbox* платформом) и *MANA* (повезана са *Decentraland* платформом) које смо раније поменули у раду. Ове платформе су тренутно најпопуларније када је у питању куповина виртуелне имовине јер имају добро успостављену инфраструктуру и власнике који су познате личности и компаније које дају легитимитет самим платформама. Куповина земљишта на било којој од ових платформи може се извршити директно са самих платформи. Продаја и власништво над виртуелним објектима се евидентирају путем преноса токена. Како би се пренос потврдио потребно је да купац поседује новчаник за чување токена. *Metamask* [275] и *Binance* [276] су два најпопуларнија новчаника.

Осим куповине директно са платформи, постоји и тржиште препродаваца, баш као што је случај са некретнинама у стварном свету. Платформа као што је *OpenSea* [277] има улогу децентрализованог агента за некретнине и омогућава продавцима да наведу своју имовину и цене, а купцима да преговарају. Куповина виртуелног земљишта је свакако високо ризична инвестиција, баш као и куповина криптовалута и NFT-а. Тренутно тржиште је у великој мери дерегулисано, канали за тражење повраћаја новца су још неразвијени. Пошто се трансакције обављају у криптовалутама и NFT-овима, корисници морају бити сигурни да их можете безбедно чувати и да нећете заборавите лозинку или било које друго средство које користите да потврдите своје власништво.

Пошто је систем обезбеђен паметним уговорима, ризик да неко може да украде виртуелну некретнину или одбаци уговоре о плаћању је тренутно минималан. Међутим, постоји забринутост да би будућа технологија као што је квантно рачунарство [278] могло учинити криптографске мере безбедности застарелим. Земљиште у стварном свету константно расте у вредности углавном због чињенице да је ограничен ресурс, а популација људи који су заинтересовани да га поседују стално расте. У виртуелном свету, количина расположивог земљишта је потенцијално неограничена. Ако се све виртуелне парцеле на платформи продају, али и даље постоји потражња купаца, ништа не може спречити

инвеститора да створи онолико парцела колико им је потребно. Многе платформе тренутно имају ограничења у вези са количином земље намећући „вештачку оскудицу“, али нема гаранције да ће то увек бити случај. Дугорочно, ово ће зависити од будућности самих друштвених виртуелних светова. Ако се испостави да је то случај и тренд виртуелних светова настави да буде једнако важан за пословање и друштво у наредних 20 година, као што је светска мрежа учинила у последњих 20 година, онда ће дигиталне некретнине вероватно постати корисно средство [135].

### 3.5 Метаверзум концепт

Метаверзум концепт можемо дефинисати као имерзивно искуство где ће корисници моћи да приступе Веб 3.0 Интернету користећи дигиталног аватара унутар проширене и виртуелне реалности [15]. Термин „метаверзум“ је први пут употребљен у роману Нила Стивенсона из 1982 под називом „Снежни судар“ [279]. Стивенсонов метаверзум је био виртуелно место где су ликови могли да побегну од суморне тоталитарне стварности. Током 1970-их, МИТ (енгл. *Massachusetts Institute of Technology*) је креирао филмску мапу, која је омогућила корисницима да крену у компјутерски генерисан обилазак града Аспена у Колораду. Ово је био први пут да се користи ВР за превоз корисника на друго место. Године 1998. *Sport Vision* је емитовао прву утакмицу уживо са жутим маркером, а идеја о преклапању графике преко погледа из стварног света брзо се проширила на друге спортске преносе. Идеја за метаверзум постоји већ неко време, али сада захваљујући подршци *Facebook* и *Microsoft* корпорација, порасло је нагло интересовање за изградњу симулираних светова који блиско моделирају стварност. *Second Life* из 2003. године је био рана верзија метаверзума где било могуће коришћење заједничког виртуелног простора између више корисника [99].

Ернест Клајн је објавио књигу *Ready Player One* 2011. године, дајући још један поглед у имерзивни свет у којем можемо да побегнемо од стварности. Књига је постала хит, а редитељ Стивен Спилберг је од ње направио филм 2018. У овом научнофантастичном роману смештеним у 2045., људи проналазе бег из стварног

света уништеног климатским променама, ратом и сиромаштвом тако што ће се склонити у *Oasis*, игру улога за више играча и виртуелно друштво са сопственом валутом [280]. Такође 2016. године, људи широм света користили *Pokémon GO* игру проширене реалности [281]. ИКЕА је са својом апликацијом, омогућио купцима да изаберу комад намештаја и виде како он изгледа у њиховом дому или канцеларији [282]. Фејсбук је променио име у *Meta* 2021. године, што указује на његов фокус на обликовање будућности метаверзума, многе компаније тренутно раде на ВР уређајима које би потенцијално могле заменити паметне телефоне у будућности [15, 39].

Интернет који данас доживљавамо функционише на основу стандарда и протокола за визуелну презентацију, комуникацију, графику, податке, итд. Метаверзум ће захтевати сложенији и виши ниво интероперабилности и синхроног искуства. Потребно је да се стандардизују постојеће функције које се користе у овим апликацијама. Док је Интернет изграђен на отвореним стандардима и протоколима, већи део је затворен и заштићен. Данашњи отворени стандарди омогућавају интероперабилност између добављача у једној индустрији, а метаверзум ће захтевати интероперабилност у свим индустријама. Неки од кључних стандарда и захтева саставни за развој децентрализованог метаверзума су [15]:

- Децентрализована мрежа рачунара високог пропусног опсега која хостује метаверзум тако да је ван контроле једног ентитета или централизованог тела. Требало би да буде у стању да олакша децентрализовани пренос података у реалном времену.
- Отворени и интероперабилни стандарди за медије, као што су текст, слике, аудио, видео, 3Д сцене, 3Д ставке, 3Д секвенце и 3Д апликације.
- Отворени програмски језици као што су HTML, JavaScript, WebXR, WebAssembly, WebGPU језике, итд.
- Решење за комбиновање стварних и виртуелних окружења и интеракције човека и машине као што су паметне наочаре, траке за

трчање, хаптичке рукавице, VR уређаје, индустријске камере и сензори за скенирање.

- Блокчејн и паметни уговор за транспарентне, безбедне трансакције.
- Рачунарска снага за подршку обраде података, вештачке интелигенције, пројекције окружења итд.
- 3Д симулације виртуелних светова са окружењем и екосистемима из стварног света.
- Трансакције који подржавају размену дигиталних валута и плаћање преко фиксних валута и криптовалута.

Као што је то случај са сваким новим екосистемом, функционисање метаверзума ће у великој мери зависити од тога како корисници могу да обављају трансакције. Криптовалуте омогућавају безбедно плаћање на мрежи без посредника (трећих страна) и олакшавају дигиталне трансакције. Штавише, са могућношћу претварања физичке валуте у дигиталну валуту, људи ће лако прелазити између физичког света и метаверзума. Потрошачи ће купити дигиталне аватаре, виртуелну земљу у метаверзуму или организовати догађај за дружење. Уметници ће наступају у метаверзуму и омогуће већем броју људи приступ на њиховим концертима. Ширење метаверзума ће заузврат проширити вредност дигиталног тржишта, а потенцијално ће довести до успона глобалне економије у будућности. Многи виртуелни светови опонашају модел тржних центара где свака продавница користи своју валуту, садржај и идентификацију корисника. У метаверзуму, све треба да буде интероперабилно. У наставку ћемо описати неколико компоненти које ће служити за постављање стандарда и развоја метаверзума [283]:

- Аватари су 3Д прикази корисника платформе. У метаверзуму, корисници креирају прилагођене аватаре који могу да поприме било које физичке карактеристике и личности које желе. Аватар може да комуницира са другим корисницима платформе, као и са самом платформом.
- Неометано кретање између различитих виртуелних окружења: виртуелни светови чине метаверзум (као што су виртуелна куповина,

видео игре и виртуелни концерти), али немамо платформу која спаја ове делове и омогућава нам да се крећемо по целом виртуелном универзуму са истим аватаром.

- Омогућити нове начине за креирање дигиталних двојника или виртуелних модела који су потпуни пандан физичким стварима као што су аутомобили, зграде или мостови.
- Интегрисати хаптичке технологије које стварају осећај додира или покрета за корисника унутар виртуелног света.

### 3.5.1 Изазови у метаверзуму

Постоји и изазовна страна коју треба размотрити пре него се направи метаверзум. Изазове које треба да размотримо су [284, 285]:

- Приватност – Метаверзум ће потенцијално захтевати личне податке од својих корисника, укључујући фиксирање очију, физичке реакције и додир.
- Заштита деце – Како деца могу да приступе метаверзуму, како можемо да пратимо шта раде и виде, како бисмо их заштитили?
- Забринутост за здравље – Вртоглавица након коришћења ВР-а и зависност. како се можемо борити са здравственим изазовима виртуелног света?
- Неједнакост приступа – Како можемо осигурати да људи имају једнак приступ технологији потребној да се придруже метаверзуму, укључујући одговарајућу опрему и могућност повезивања?
- Правна питања – Регулаторна питања метаверзума. На пример, када је виртуелни чин злочин?
- Десензибилизација – Како можемо да обезбедимо да корисници не постану десензибилизирани на насиље и расизам?
- Крађа идентитета – Заштита дигиталног идентитета биће критична. Треба размотрити како заштити ове податке од крађе или лажног

представљања. Како можемо да потврдимо да су корисници они за које кажу да јесу у виртуелном свету?

Метаверзу ће захтевати развој нових протокола и технологија као би био опште прихваћен. Поводом тога су покренуте асоцијације са циљем стандардизације развоја метаверзума, једна од највећих је *Metaverse Forum Standard* [286].



## 4. Развој колаборативних виртуелних окружења

Како би развили решења базирана на метаверзум концепту треба да се упознамо са методама развоја иновативних решења, *lean startup* методологијом, развојем озбиљних игара и елементима које треба да садржи виртуелно колаборативно окружење.

### 4.1 Развој иновација

Развој технологије је утицао да креативне индустрије представе нова знања и вештине подржане технологијом. Иако креативност представља стваралачки чин, све је већа веза између креатора и технологије. Креативност је квалитет који је потребан у процесу развоја иновација које се све чешће везују за технолошка достигнућа. Захваљујући стручњацима у индустрији информационих технологија данас постоје одличне видео игре, паметни телефони, веб сајтови и друга технолошка достигнућа. Наведени производи припадају областима креативних индустрија и развијени су кроз креативни приступ и технички подстицај. Сам значај креативних индустрија и модерних технологија, огледа се кроз употребу напредних технолошких алата у астрономији, медицини, образовању, машинству и другим модерним областима. Иновације се могу остварити коришћењем стартап концепта.

*Lean startup* [287] је дефинисао познати предузетник Ерик Рис. Ерик Рис стартап дефинише као организацију посвећену креирању нечег новог у условима екстремне несигурности. Рис у својој књизи наводи да већина стартапова не успе, али да многи од тих неуспеха могу да се спрече. Књига се ослања на “потврђено учење”, брзо научено експериментисање примењиво на лицу места у циљу откривања жеља корисника. Поред тога, описана је *lean startup* методологија развоја пословних подухвата и производа. Идеја за *lean startup* је настала након што се појавио велики број добро технички дизајнираних производа који су наишли на одбијање од корисника јер нису испуњавали њихове захтеве. Основа *lean startup*

методологије је у елиминисању постојећих непотребних пракси у развоју производа и повећаној примени пракси које су за резултат имале повећање вредности, веће шансе за успех и мање потребе за финансирањем.

Пет основних принципа *lean startup* методологије су:

- Размишљај о већем циљу, почни са мало групом корисника и расти брзо.
- Иноватор треба да познаје ефектне менаџерске вештине.
- Потврђено учење - свака компонента производа може да буде научно потврђена спровођењем експеримената који ће да идентификују кључне ризике и потребе корисника.
- Направи-Измери-Научи (енгл. *Build-Measure-Learn*) циклус – ставља се акценат на брзину и понављање као кључни састојак развоја производа, где што пре треба одлучити да ли наставити са идејом. Овај процес се након тога понавља онолико пута колико је потребно. Фазе овог циклуса су: идеја, направи производ, измери податке и научи.
- Иновативно рачуноводство - процес чини предузетнике одговорним за њихове акције и резултате кроз постављање приоритета, мерење учинка и постављање пролазних тачака (енгл. *milestones*).

У наставку биће описан процес експериментисања, тестирања и процењивања производа на основу *lean startup* методологије.

#### 4.1.1 Експериментисање

Као и у научном истраживању за започињање сваког пројекта битно је поставити хипотезу која помаже при стварању претпоставке о ономе што би требало да се догоди. Експерименти имају главну улогу у развоју идеје, они подразумевају: хипотезу о корисницима, проблему и решењу, итеративно изbacивање производа на тржиште и валидно учење. Хипотезу је потребно применити практично и тестирати. Експеримент се води визијом ствараоца, и њен

циљ је да открије како да се створи одрживи производ око те визије. На тај начин иноватор може да провери своју идеју. При процесу експериментисања филтрирају се вредности и избацује се све оно што смањује квалитет производа [287].

Пример је *Dropbox*, овде је иноватор једноставним тестом установио да ли је његова идеја валидна. Он је снимио видео материјал од четири минуте у коме је на реалном примеру описао функционалности производа и позвао људе да се пријаве како би тестирали приватну бета верзију. Ово им је дало два нова подстицаја, наставак развоја производа и инвеститоре који су желели да улажу у њих. Овим примером *Dropbox* је успео потврдити своју хипотезу, а да није имао готов производ.

#### 4.1.2 Експериментисање

У тестирање спада производ са минималном функционалношћу (енгл. *Minimum Valuable Product, MVP*), његова сврха је да помогне иноваторима да што пре тестирају свој производ над корисницима као и да испитају хипотезу. То је најједноставнији процес проласка кроз структуру направи-процени-учи. Овај начин рада је супротан од традиционалног пословања који подразумева дуг и промишљен период инкубације и тежи савршености производа. MVP тежи да започне са процесом учења, то се односи на ширу слику од обичног прототипа или теста идеје јер испитује и основе хипотезе. Велика замка у коју иноватор упадају кад помисле на свој савршени производ који ће променити свет, долази из њиховог угла када производ одмах намене великом броју људи, уместо да обезбеде прве потрошаче који су вољни да га испробају пре него што буде спреман. Рани интересенти припадају одређеној групи корисника такозваним раним усвајачима. Производ са минималном функционалношћу односе се на изузетно једноставне тестове, до првих прототипова са проблемима и елементима који недостају.

Експеримент у коме су различите верзије производа понуђене купцима у исто време назива се А/Б тестирање (енгл. *split testing*). А/Б тестирање је метода поређења две или више различитих верзија једне апликације, како би се утврдило на коју верзију корисници боље реагују. А/Б тестирање користи статистику како би

помогао током избора дизајна корисничког искуства (енгл. *user experience*) и омогућио бољу стопу конверзије. Стопа конверзије је проценат посета који резултирају повећањем броја корисника. Уколико број корисника расте онда је потврђен експеримент над потенцијалним купцима производа [287].

#### 4.1.3 Процењивање

Процењивање је процес који има за циљ да одреди колико корисника може да привуче неки иновативни производ. Зато након процењивања и израде плана, потребно је одредити задатке које је потребно производ да испуњава:

- Бити ригорозан у односу на чињеницу у којој се производ налази и суочити се са проценом.
- Смесити експерименте да би се открило како померити стварни број корисника ближе идеалу који се налази у пословном плану.
- Задржати карактеристике производа које су се највише допале корисницима, док остале одбацити или анализирати могућност за унапређење карактеристике.

Практичан пример процењивања биће приказан у наставку. Иновацију можемо описати као образовну колаборативну мрежу виртуелних светова која ће унапредити образовни систем широм света. Осим своје намене специфична по томе што се прилагођава корисниковим потребама и жељама. То значи да је корисник у могућности да виртуелно изабере свог аватар (професор или студент) и учионицу помоћу понуђених алата направљених за виртуелну употребу (табла, сто, столице, прозори, врата, зидни сат, карта света итд.), док студенти могу да приступе жељеном курсу.

Прототип верзија планирана за тестирање над раним корисницима, имаће:

- Приступ виртуелном свету (учионица са пратећим материјалом).
- Могућност посматрања околине.
- Интеракцију са објектима.

Развој новог производа укључује истраживање кроз развој прототипа и анализе постојећих производа. Након тога иде развој почетне верзије производа, тестирање квалитета и на крају лансирање производа на тржиште. Развој корисника (енгл. *customer development*) је методологија за откривање и потврђивање правог тржишта за производ, развој функционалности производа који одговарају на потребе корисника, тестирање модела и тактика за придобијање и конверзију корисника, и на крају, развијање одговарајуће организације и ресурса који су потребни за развој. Ову методологију је развио Стив Бленк, професор на Стенфорд универзитету и један од најзначајнијих људи у областима технолошког предузетништва. На највишем нивоу, суштина развоја корисника је преиспитивање најбитнијих претпоставки везаних за развој производа. Другим речима, развој корисника учи о томе да уместо да се прихвати тачна претпоставка, треба тежити инжењерским и истраживачким методама како би се те претпоставке потврдиле. Кључна предност ове методологије је у томе да не мора да се потроши пуно времена како би сазнали шта функционише, већ исто време улаже за спровођење и скалирање нечега за шта је доказано да функционише. У том случају, примењује се процес учења, а не чисто спровођење у дело нечега за шта само се претпоставља да је најбољи модел за развој решења. Уколико је развој корисника спроведен на прави начин, онда помаже приликом управљања ресурсима и пружа веће шансе за налажење производа који ће одговорати тржишту и који ће се користити [288].

#### 4.1.4 Модел развоја корисника

У односу на традиционални модел приступа развоју новог производа, који започиње идејом о производу, развој корисника започиње анкетирање потенцијалних корисника и развојем прототипа који корисници желе да користе. Развој корисника састоји се из четири фазе:

- откривање корисника,
- потврђивање корисника,
- креирање корисника,
- развој производа.

У склопу откривање корисника, постоје три фазе:

- Проблем-решење усклађеност - усклађеност решења са проблемом: са испитаницима потврђујемо да ће специфично решење решити већ познати проблем у тој мери да ће они бити спремни да га купе.
- Прототипа - производ минималне функционалности: производ који поседује прикупљене податке из прве ставке, и потврђивање са потенцијалним корисницима.
- Продајни левак - кроз разговоре са корисницима, истраживање и анализу, јасно је дефинисан процес продаје и све активности које треба предузети како би потенцијални купци прошли кроз процес.

Фаза потврђивања корисника укључује три фазе:

- Потврда прототипа производа: потврђено је шта је вредност коју треба испоручити кориснику.
- Потврда мапе пута (енгл. *roadmap*) продаје и маркетинга: разумевање сегмента корисника, оптимизован је процес маркетинга и продаје (конверзију).
- Потврда пословног модела: доказано је да тржиште на коме учествује компанија довољно велико за скалирање потребно за одрживи посао, и да је очекивана укупна вредност добијена од корисника већа од трошкова вођења посла.

Након прве две фазе, методологија развоја корисника пружа одговоре на:

- Тржиште није довољно велико.
- План дистрибуције није скалабилан.
- Купци не желе производ у очекиваном броју.
- Процес продаје је исувише скуп.
- Конкуренти троше више новца.

Уколико су резултати истраживања негативни онда треба бити спремна на промене тј. пивотирање. Пивот је промена пословног модела са идејом да тестира нову, основну претпоставку о производу, стратегији или начину раста. Уколико производ није дошао до значајног броја корисника, оснивачи стартап компаније

треба да одустану од идеје, што значи повратак на прву фазу методологије развоја корисника. Након успешне прве две фазе развоја корисника компанија долази до поверења раних усвајача [287].

#### 4.1.5 Агилни развој софтвера

Агилне методологије су засноване на инкрементално и итеративно оријентисаним процесима, у којој решења настају као резултат сарадње између тимова. Код агилних процеса фокус је на итеративном планирању. Више се времена улаже у планирање при чему је мања шанса да дође до неразумевања. Најпопуларнији агилни алати су: скрам, канбан, скрамбан (комбинација скрам и канбан алата), лин (базиран на лин производњи) и други. Скрам представља итеративни и инкрементални развојни процес. Софтвер се развија у више итерација при чему свака наредна итерација представља наставак на претходну. Циљ је да се дође до резултата заједничким снагама у што краћем року. Кроз планирање се дефинишу задаци (приче) и елиминише вишак посла. Захтева да се након једне или више итерација објави нова верзија софтвера са претходно дефинисаним функционалностима. Итерације у скраму можемо звати спринт. Препоручује се да итерација траје од две до четири недеље. Сваки спринт је временски ограничен и захтева да се планирани задаци заврше током трајања итерације. Самим тим током итерације одређује се брзина тима тј. колико посла могу да заврше током итерације на основу бодова који су дефинисани унутар задатака. Итерације се организују на основу процене комплексности задатака из листе (енгл. *backlog*) при чему сви задаци који улазе у итерацију сачињавају спринт листу. Задатке унутар листе зовемо дефинишемо као приче (енгл. *stories*), грешке (енгл. *bags*) и побољшања (енгл. *improvements*). Задаци пролазе кроз неколико фаза. Оно што је у фази завршено треба да испуни све захтеве који су дефинисани унутар пројекта као успешно обављен [289].

#### 4.1.6 Концепт отворене иновације

Концепт отворене иновације представља парадигму која наглашава да можемо унапредити производ отварањем пословних модела и смањити трошкове истраживања и развоја, усвајањем спољашњих знања. Другим речима, иноватори могу додати вредност производу кроз знања која постоји ван граница њихове организације. Пример је отворен код (енгл. *open-source*) будућег комерцијалног производа и могућност да људи широм света учествују у његовом развоју, бесплатно или уз одређену накнаду за сваку карактеристику коју имплементирају у постојећи систем. На овај начин би делимично решили недостатак стручног кадра или усвојили спољашња знања [290].

#### 4.2 Захтеви за развој виртуелног света за образовање

Образовање засновано на методама питања и одговора датира још из античке Грчке и почетка цивилизације. Током миленијума од тада, образовање је прилагођавало књиге, филмове, па чак и телевизију, јер су ови нови медији доказали своју ефикасност. Ови алати су побољшали и досег и ефикасност образовања. Видео игре или 3Д симулације, сада су у процесу доказивања своје ефикасности као алата за обуку и подучавање. Постепено расте прихватање видео игара као другог образовног средства. Ипак, прихватање видео игара у учионици још увек није универзално. Углавном се наставници питају колико добро игре подучавају у поређењу са традиционалнијим методама. Међутим, свако ново наставно средство је подвргнуто овој контроли, чак и рачунари, а недавно и Интернет. Данас нико не доводи у питање вредност рачунара у учионици, а Интернет и даље ствара нове образовне могућности. Своју вредност ће доказати и видео игре [142].

Термин озбиљне игре (енгл. *serious games*) се први пут појавио у књизи Кларка Абта 1968. године [291]. Абт се бавио играма које се користе као симулације које се могу користити за образовање. Данас не постоји стандардизована дефиниција „озбиљних игара“. Међутим, може се рећи да је озбиљна игра решење



које је развијено технологијама и дизајном који се користи за софтвер у области забаве и да није искључиво направљен за забаву. Важније је имати равнотежу између аспеката игре који представљају фактор забаве и информативних и образовних аспеката. Особа која игра игру треба да науче нешто што се може користити у ситуацијама из стварног живота. Озбиљне игре се могу упоредити са документарним филмовима који имају јаку везу са стварношћу. Искуство учења има велику вредност. Прве озбиљне игре су коришћене за симулације лета. Будући пилоти могу да науче како да лете и шта да раде у критичним ситуацијама у веома реалном и безбедном окружењу игре. Штавише, озбиљне игре су применљиве у данашњој здравственој заштити. Игре се користе за обуку медицинског особља, терапеутско средство за пацијенте са физичким или психичким обољењима, и за унапређење здравља [131].

Абт је у својој књизи из 1969. године теоретисао да би све већи недостатак наставника довео до образовне употребе игара у учионици. Осврћући се на 1984. годину, када је ажурирао књигу, приметио је да иако је и даље недостајало наставника, тржиште образовних игара је у то време још увек било минимално у поређењу са тржиштем производа за забаву. У тих 15 година, било је мало промена. У две деценије од тада, технологија подстакнута комбинацијом персоналног рачунара и Интернета довела је до промена [291].

Развој персоналних рачунара био је на бази нових конзола за игре, попут Атари 2600 уређаја, који су прикључени на телевизоре. Једноставне периферне јединице за унос, обично дојстик, ограничавале су образовне могућности раних конзола за игре. Ипак, игре као што су *Basic Programming* и *Fun with Numbers* креирани су за Атари 2600. Мање позната *Fairchild Channel F* конзола је такође имала образовне кертрице за подучавање математике и програмирања. Персонални рачунари, посебно *Apple II* серија, *Commodore 64*, а касније и *Apple Macintosh*, прешли су из куће у учионицу средином 1980-их. Apple је радио на томе да компјутере уведе у учионице током 1985. Кроз све ове напоре, персонални рачунари су постали стални део модерне учионице [292].

Током 1990-их, рачунари су постали „мултимедијални“, подржавајући дисплеје у високим бојама, квалитетан звук и репродукцију музике, и меморију

попут чврстих дискова или компакт дискова. Рачунари који су некада били домен пословног софтвера и софтвера за продуктивност, као што су табеле и програми за обраду текста, сада су могли да пуштају игре, музику и још много тога. У комбинацији са падом цена хардвера, рачунари су се преселили у домове и школе широм света. Потражња за образовним софтвером је порасла јер су родитељи оправдавали цену својих нових рачунара. Средином 1990-их, је прикупљено 50 милиона долара од *Sony*, *Microsoft* и других извора за развој компакт дискова за учење заснованих на играма који ће се покретати на конзолама за видео игре. Игре су морале да буду забавни како би се такмичили са телевизијским садржајем и са нагласком на забаву, покушавајући да опонаша изглед видео игрица и користећи ликове са којима би се деца повезала. Овај приступ је показало да студенти који су користили образовне видео игре имали повећање резултата теста за 30 одсто [293, 294].

Од 2000. године и глобализације Интернета дошло је до још већег раста образовних играчака, игара и софтвера. До тада су родитељи, који користе игре и играчке да припреме своју децу за школу, више су прихватили овај вид образовања него наставници. Ово се огледа у коришћеним маркетиншким кампањама које показују да се деца забављају док њихови родитељи то поносно гледају. Наставници, као професионалци у образовању, имају тенденцију да буду скептичнији према тврдњама о образовању и забави. У многим случајевима још увек треба да буду убеђени у ефикасност игара у учионици. Јапан је посебно имао историју комерцијалних симулационих производа, који су образовни, чак и ако су направљени као производи за забаву. Такве симулационе игре обухватају широк спектар тема. На пример, постојале су игре као што су училе о музици, одређеном занимању или коришћењу одређене справе. Игре се приказују као ефикасна наставна средства, док програмери раде са наставницима да интегришу те игре у учионицу. Видео игре су продрле у масовну културу до готово истог нивоа као и телевизија. Штавише, стилови учења развијени из видео игара су знатно другачији од оних који се очекују у традиционалним учионицама. Деца која су одрасла уз рачунаре мисле другачије од својих родитеља и да обрађују информације на нове начине што је створило потпуно другачији стил учења. Такође корисници видео

игара показују побољшане когнитивне вештине, укључујући побољшану визуелизацију и менталне мапе [295].

Друга истраживања су открила побољшану визуелну меморију код деце од четири године као резултат играња видео игара. Постоје мишљења да децу треба поучавати на активан начин радећи ствари и играјући игрице. То је веома различито од онога што се учи у школама, што подразумева пасиван приступ и упијање информација. Деценијама пре него што су видео игре са различитим нивоима тежине постале популарне, Абт је видео прилику да игре пруже инструкције које су „прилагођене” способностима појединца. Чак су и ученици истог номиналног разреда на различитим нивоима. Неки су изнад просека, а неки испод просека. Ово се посебно односи на државне школе, које имају шири спектар ученика. Игре се могу прилагодити тако да одговарају овим финијим градацијама способности. Поред тога, Абт је тврдио да игре могу да мотивишу стидљиву и повучену децу да постану активна и комуникативна у контексту игре. Како год да поделите образовање, озбиљне игре имају потенцијал да истраже различите типове учења, много више него што то могу предавања, видео снимци обуке или чак књиге. Абт је говорио о студији која је показала, користећи писане тестове пре и после игре, да су ученици који су користили игру показали боље резултате него што се обично постиже предавањем за исто време јер игра у великој мери убрзава редослед активности које се симулирају. Играње игре пружа тренутну награду појединцу који донесе исправну одлуку, док ученик који то не уради одмах зна своју грешку и може да исправи своју грешку [296]. Као образовно средство, прототип имплементиран унутар дисертације користи карактеристике озбиљних игара [10].

### 4.3 Карактеристике озбиљних игара

Озбиљне игре користе концепт из филозофе који се зове конструктивизам. Конструктивизам је усвојен у многим областима током протеклих деценија, укључујући образовање и дефинише се на следећи начин: „Конструктивизам је образовна филозофија заснована на премиси да размишљајући о нашим искуствима, ми конструишемо сопствена разумевање света у коме живимо“ [297].

Озбиљне игре пружају начин да ученици не само памте чињенице, већ и да стекну искуство и створе сопствени начин разумевања како се оно што науче примењује у њиховом животу. Велики део онога што се данас предаје пада у линеарни образац који је дефинисао Кларк Олдрич [298]. Бољи приступ, према Олдричу, јесте да се материјал представи на линеаран и отворен начин. Ово омогућава ученику да успостави редослед презентације и понови оне делове које не разуме први пут. Баш као што неко учи тениске вежбе изнова и изнова, циклични приступ омогућава ученику да вежба и одреди шта је неопходно. Такође, отворени процес подстиче истраживање и креативност. Комерцијалне игре попут *Zoo Tycoon* и *Dance Vos Revolution* се користе у неким школама. *Dance Vos Revolution*, на пример, коришћен је на часовима физичког васпитања у школама у Сједињеним Државама, Уједињеном Краљевству и Европи, вероватно ће све више видео игара укључивати карактеристике и материјал за учење како би се могле лакше користити у учионици [299]. Да би игре биле озбиљне, потребно је да симулирају ситуацију из стварног живота. Такође, важно је пронаћи добар баланс између стварног и виртуелног света, учинити игру веома реалистичном може смањити фактор забаве. Треба наћи баланс између реализма и стилизма код приказа виртуелног окружења. Многе игре данас имају реалистична окружења док су ликови у играма имају мањи ниво реализма што се показало као добар избор код већине играча [306].

За учење је потребно више од мотивације, а анегдотске доказе је тешко квантификовати. Штавише, друге образовне предности озбиљних игара су мање разумљиве. Ово се, међутим, мења са новим студијама које се спровode сваке године. На основу истраживања које су спровели Бицен и Ајдоган [300] три значајне области су процена учења, цена по ученику и потенцијална употреба озбиљних игара. Процена учења испитује колико је ученик научио. Трошак по студенту, односно повраћај инвестиције кроз примену озбиљних игара су важни фактори јер док се цена по ученику не покаже да је свеукупно мања од постојећих метода, стопа усвајања игара у образовању ће остати ниска. Слично томе, постоји интересовање за то колико се озбиљне игре могу користити у различитим дисциплинама. Тренутно, програмери игара још увек не знају како да направе добру озбиљну игру нити у потпуности разумеју како играчи тумаче садржај игре. Упркос њиховој очигледној корисности, игре нису стандардизоване ни на једној

теорији учења. Потребни су искусни програмери игара и професори како би озбиљне игре имале на значају унутар учионица. Такође, програмери игара морати блиско сарађивати са професионалцима у образовању како би осигурали тачност и педагошку вредност. Будућност било које врсте игре у учионици одређиваће наставници на свим нивоима образовања. Родитељи ученика су још једна важна група коју треба узети у обзир.

Постоје следећи критеријуми за образовне симулације:

- Сценарији и ситуације у игри морају бити аутентични и релевантни.
- Ови сценарији треба да дотакну емоције и приморају ученике да делују.
- Сценарији треба да пруже осећај неограничених опција.
- Сценарији се могу поновити.

Конструктивизам, поменут раније, пример је само једне теорије учења, а чак је и та филозофија подељена. Постоји благи конструктивизам, радикални конструктивизам и још много тога, од којих сваки наглашава различите улоге и приоритете наставника, ученика, па чак и друштва [295]. Неки сматрају, ако би се игре увелико користиле, наставник би постао тренер, а не предавач. Такође, наставници већ имају пуне распореде и дугу листу обавеза. Сваки нови алат или метод мора да замени или да се интегрише са постојећим алатом или методом. Затим, недостатак примера како би игре могле да се користе, као и да ли корисници имају боље резултате. Страх да ученици можда науче мање него коришћењем традиционалних метода и могућност за учење код деце са сметњама у развоју. Недостатак валидације комерцијалних игара као алата за учење и да школски рачунари нису довољни за покретање модерних игара.

Многи наставници су заинтересовани за нове алате и нове методе, али само ако виде како им коришћење тих алата може помоћи да свој посао обављају боље, брже и ефикасније. Потребно је представити решење кроз:

- Пример наставницима: Пошто није увек очигледно како се игра може или треба користити у учионицама, програмер би требало да пружи

примере или да ради са наставницима на креирању примера о томе како је озбиљна игра намењена да се користи.

- Једноставне игре. Игре за учионицу не би требало да имају дугачке видео секвенце или исечене сцене које прекидају игру. Игре би требало да имају уклоњене све рекламе и функције које нису релевантне за учионицу.
- Одржавајте тачност: Симулација и информације представљене у игри морају бити што тачније. С друге стране, у игра би требало да уклони делови који нису занимљиви корисницима.
- Домаћи задатак. Наставници треба да буду у стању да задају домаће задатке и задатке.

Игре попут *Minecraft*-а или *Sandbox*-а које су креиране за малопродају, могу се користити и у образовне сврхе [301]. Програмери треба да размисле о томе како да:

- Интегришу игре које опонашају учионицу?
- Шта очекују да ученици науче из игре?
- Како да то науче?
- Како интегрисати време за игру са временом за критичко размишљање?

Салем и други [302] сматрају да играње и учење мора бити интегрисано. Иако, озбиљне игре могу постати стандардни део образовања и обуке, то се неће догодити ускоро. Уколико узмемо у обзир растуће научно интересовање за видео играма, нема сумње да оне припадају култури колико и књиге и филмови. Баш као књиге и филмови, игре пре могу да имају образовну функцију него да се праве само из забавног разлога, могу се користити у разним областима као што су медицина, војни и образовни институти попут школа и универзитета за даље усавршавање. Пре него што су озбиљне игре постале популарне, софтвери за учење коришћени су са мање или више успеха. У поређењу са софтвером за учење, озбиљне игре комбинују примарни циљ образовања са високим фактором забаве.

Реис и други [303] сматрају да се озбиљне игре могу користити за образовање на свим нивоима, од предшколског и основног, преко средњег до високог или универзитетског, па чак и на тржишту рада. Уместо да само читају законе и причу о томе како је закон написан, ученици би могли да учествују у игри у стилу законске конвенције. Они тада могу да виде процес којим су одређени чланци укључени у документ, а други нису. Читање може се оставити за домаћи задатак, резервишући време у учионици за игру. Уз правилан избор питања и чланака о којима се расправља, оваква игра би се могла користити на скоро свим нивоима образовања, од основне школе до средњих школа и универзитета. Крајем 2004. године, постојао је *Second Life* програм који је омогућио наставницима и студентима да користе алате за развој виртуелних учионица [99]. Надовезујући се на реалистичну симулацију физике, 3Д моделирање, економске и друштвене системе игре, *Second Life* је требало да пружи студентима оквир за сарадњу да експериментишу у реалном времену са свиме, од урбаног планирања до дизајна игара до формирања друштвене заједнице. На универзитетском нивоу, професори су се показали отворенијим за озбиљне игре. Поред забаве, игре треба да промовишу вештине размишљања вишег реда, као што су тимски рад, прикупљање података и анализа. Резултати и извештавање код озбиљних игара треба бити мерљиво. Наставници треба да знају да ли је ученик заиста научио садржај из озбиљне игре. Природа озбиљних игара је да омогући окружења за учење која се прилагођава ученицима током времена и на основу њиховог напретка кроз лекције. Тренутно је процена ограничена на традиционалне приступе тестирању и самопроцене које дају играчи пре и после игре. Тестирање у учионици се обично дешава након презентације материјала за час. Међутим, пошто се ефикасност озбиљних игара још увек утврђује, важно је да се тестирање одвија и пре и после игре. Без мерења знања или способности ученика и пре и после, немогуће је знати да ли је било шта научено. Најочигледнији начин за процену знања о садржају је коришћење традиционалних типова тестирања, као што су питања са више одговора, било у игри или ван ње. Друге опције су интервјуи, засновани на одређеним проблемима, опште решавање проблема, анкете или мешавина посматрања, тестова и интервјуа. Уколико, ученик постигне услов у оквиру озбиљне игре, положио је тест. Изазов тада постаје креирање сценарија за

симулацију тако да се не може успешно превазићи једноставним, случајним покушајима и грешкама. Наставници, који су дали својим ученицима више слободе у погледу начина на који користе рачунар, открили су да ће ученици бити ментори једни другима. Менторство ученика од стране ученика променило је начин на који су ученици учили [11].

Игре дизајниране за малопродају не морају да доказују да њихови играчи нешто уче, тако да се не суочавају са истим изазовом када креирају своје сценарије или нивое [304]. Задатак је на дизајнеру игара да се побрине да ове врсте рупа у дизајну не постоје. Проналажење да ли је ученик научио предмет је тежак задатак. Могуће је обесхрабрити некога из неке области тако што ћете ступити у контакт са њима на начин који је штетан за њихову вољу да учествују у тој области. Начин на који се материјал представља ученику и како се процењује задржавање или разумевање тог материјала може имати дубок утицај на то како ће ученик реаговати на сличан материјал у будућности. Коришћењем видео игара наставник могао је да идентификује по понашању ученика у игри да ли он или она нешто разуме или не. На крају крајева, софтвер има могућност да процени играча док је играч у интеракцији са софтвером, а ова процена се може дати наставнику. Игре и традиционално образовање функционишу веома различито, а програмери и наставници ће можда морати да преиспитају своје теорије учења и тестирања пре него што могу да направе било какав напредак у овој области.

На основу истраживања које је урадио Гете [305], наставници представљају огроман ресурс за дизајнере озбиљних игара. Са дугогодишњим искуством у учионици, наставници су видели шта ради, а шта не, могу постати извор идеја за нове технике и апликације. Пре свега, дизајнери и наставници морају да науче да комуницирају једни са другима тако да обе стране разумеју једна другу. Затим, фокус треба да буде на циљевима учења и дизајнирању игре која испуњава те циљеве. Надлазеће генерације наставника имаће скоро исто искуства са видео игара као и надлазећа генерација програмера игара. Ово ће олакшати и заједнички речник и заједничко разумевање жељених резултата. Са појавом озбиљних игара, програмери игара су у позицији да помогну наставницима не само да еволуирају и побољшају своје методе подучавања, већ и да истовремено унесу предности аутоматизације и информационе технологије током учења. Алати за прављење



игара, хардвер за њихово покретање, вештине дизајнера игара и најновије теорије образовања могу се спојити као би направили решење које може служити као подршка традиционалној настави.

#### 4.4 Дизајн виртуелних светова

Што се тиче вештина дизајна игара, основа је механика игре која служи као средство да задржи кориснике да играју игру. Да би се то постигло, с једне стране, игра не би требало да фрустрира корисника јер је превише тешка или превише збуњујућа за играње, а са друге стране не би требало да буде превише лака. Ово може довести до тога да играчима досади и престану да је играју. Механике игре могу бити достигнућа, бонуси, одбројавање, нивои, поени, итд. Механика игре се може класификовати у три категорије [295]:

Врсте механика игре:

- Напредовање: подржава развој вештина.
- Повратне информације: позитивне и негативне повратне информације.
- Понашање: бави се људским понашањем и психом.
- Платформа за играње: механике игре су развијене за персоналне рачунаре, уређаје виртуелне реалности или играчке конзоле

Типови личности играча:

- Теже достигнућима: воле да добијају „поене“, прелазе нивое, и друга мерења која одражавају успех.
- Истраживачи: попут откривања области, прављења мапа и учења о скривеним местима.
- Социјализатори: бирају игру због друштвених ефеката, а не због саме игре.
- Такмичари: такмичења са другим играчима.

Технике ангажовања унутар игре

- лојалност,

- време проведено,
- утицај,
- забава,
- кориснички генерисан садржај,
- виралност.

Имајући ово знање о различитим категоријама, могуће је креирати игру за одређену циљну групу одабиром најприкладније механике игре. Циљ наше метаверзум игре је да окупи наставнике и ученике у опуштеној атмосфери која омогућава дискусију о разноврсним темама [10]. Циљ је да сви учесници уче једни од других и игра ће помоћи да се боље разуме мишљење другог кроз интеракцију унутар окружења. Игра се одвија у виртуелном свету које има различите области, нпр. постоји област која је копија школске учионице и област за забаву. У свакој области постоје ликови који причају своје приче о одређеној теми. Касније корисници морају да одговоре на питања о задатој теми. Одговори ће утицати на даљи ток игре. За тачне одговоре добијају се бодови. Ова озбиљна игра је намењена играчима који воле социјалне активности и постигнућа и укључује следеће механике игре: напредовање, повратне информације, и понашање. Играч ће добити позитивне или негативне повратне информације о одговорима које је дао, овај фактор би требало да утиче на играча јер их чини свесним о одређеним темама и чини игру занимљивом, иначе би корисници престали да је играју. Метаверзум прототип апликација је дизајнирана као рачунарска игра, са могућношћу да буде подржана на што већем броју рачунара и на ВР уређајима подржаним од стране OpenXR, *Cardboard* и других додатака за *Unity* алат [93], ово значи да ће главне механике игре бити прилагођене корисничком дизајну платформе на којој апликација буде била покренута. Карактери и окружења су стилизовани тако да визуелно подсећају на *Fortnite*, једну од најпопуларнијих игара међу циљном групом [271].

Искуство кроз игру корисницима пружа уживање, креативно размишљање, одсуство негативног утицаја, активацију и доминацију, чиме се повећава лојалност и учешће корисника. Искуство кроз игру се сматра ефикасним за образовање због следећих пет атрибута које подстиче а то укључује континуитет, интеракцију,

интересовање, раст и образовно искуство. За одрживо учење, инструктор пружа ученицима задатке непрекидно у фиксном или променљивом трајању. Ученици савладавају или проширују знање које су стекли док решавају задатке са којима се суочавају. Истовремено, инструктори постављају циљеве учења кроз задатке. Ученик који успешно реши задатак добија награду од инструктора. Награда има различите облике као што су бодови или привилегије и бенефиције које помажу другим активностима учења. У систему поена и ранг листе, када ученици испуне задатак, добијају поене, а бодови се приказују на табели, промовишући мотивацију ученика за учење.

Искуство учења се проширује изазивањем интеракције између ученика, између ученика и наставника, и између ученика и образовног окружења. Правила игре или механика игре коју поставља инструктор изазивају интересовање ученика. Конкретно, стимулише шест појединачних фактора код ученика који подстичу одрживо учење. Шест фактора су:

- Савесност: активно планирање или организација задатака.
- Услужност: помоћ током рада.
- Неуротицизам: унутрашње самоуправљање, као што су страх, туга, стид, неповерење или тешкоће у управљању стресом.
- Емоционална стабилност: супротно неуротицизму.
- Прилагодљивост: проналажење нових могућности или интересовања.
- Машта/отвореност: измишљање нових и оригиналних идеја.

За потребе анализе решења која стимулишу мотивацију за учење пружањем игрових искустава у метаверзуму виртуелног света, коришћене су: *Zepeto* [308], *Roblox* [164], *Gather.town* [309], *Fortnite* [271] и *Classcraft* [307]. Наведена решења поседују платформу за учење где поједини ученици могу креирати своје аватаре и изабрати своју професију. Ученици зарађују бодове сваки пут када реше проблеме које им је представио инструктор. Бодови се користе за постизање јединствених вештина. Као резултат, идентификовано је пет типова виртуелних светова.

- Свет преживљавања: Свет у коме се неко такмичи са другим корисницима за знање све док последњи преживели не победи.

- Свет лавиринта: Међу елементима који чине свет, лавиринт заузима велики удео. Свет који преноси знање у процесу форсирања избора или рачвастог пута.
- Свет са више избора: Свет заснован на правилима где корисник који пронађе тачан одговор међу опцијама, а корисник са највише тачних одговора побеђује.
- Тркачки свет: Свет у коме побеђује корисник који достигне коначну тачку померањем свог аватара.
- Бекство из себе: Корисник мора први да стигне до последње тачке да би победио. Свет који крије наговештаје за бекство из тренутног простора и захтева од корисника знање за решавање проблема.

Пет типова виртуелног света идентификованих у овој студији стимулишу мотивацију за учење тако што корисницима пружају игрово искуство засновано на основној структури гејмификације које су предложили Ким и други [310]. Прво, пет типова виртуелног света пружају корисницима услове за победу и обављање задатака. Услови победе је да они који остану до краја, добијају највиши резултат или први дођу до одређене локације. Задаци који се пружају корисницима за постизање услова за победу су давање тачних одговора, проналажење скривених наговештаја, добијање поена и бирање правог пута [75].

#### 4.4.1 Дизајн виртуелног света за образовање

Примена виртуелних светова кроз образовање је већ показао велики потенцијал, посебно у сектору игара. Већ неколико година, одређене видео игре омогућавају корисницима да слободно комуницирају једни с другима, па чак и да присуствују сарађују коришћењем гејмификације. Међутим, играње игара није једина индустрија која може имати користи од виртуелних светова. Постоји потражња од стране наставника да учење на даљину учине занимљивијим и интерактивнијим.

Прављење виртуелне учионице налик на учионице из стварног света: Главна корист коју учење на даљину може добити од виртуелних светова је његова

способност да оживи окружења за учење кроз виртуелни свет. Наставници могу изградити собе које одговарају њиховим образовним потребама. У исто време, потпуно прилагодљиви аватари омогућавају ученицима да комуницирају са стварним објектима и теорију примене у пракси. Поред тога, омогућавање ученицима да користе аватаре који су реалистични прикази њих самих, додаје се осећај реализма у виртуелној учионици, држећи ученике више ангажованим у процесу учења [311]. Виртуелна учионица треба да поседује следеће особине како би подржала традиционалне методе учења, то су:

- Промовисање комуникације: Физичка дистанца може створити осећај изолације и усамљености међу ученицима и наставницима. Виртуелни свет омогућава инструкторима да створе просторије у којима могу одржавати интерне састанке. У исто време, ученици могу да граде учионице у којима могу да сарађују, уче заједно и друже се. Користећи своје аватаре, сви се могу повезати тако што ће се виђати, лако делити датотеке, комуницирати са истим објектима или играти игрице. Ове карактеристике подстичу ученике да се повежу са колегама из разреда и наставницима, чиме се побољшава искуство учења.
- Подршка имерзивном учењу: Главна технологија за имерзивно учење је виртуелна реалност. Конкретно, корисници су опремљени ВР наочарима које им омогућавају да уроне у виртуелни свет. Ученици на мрежи могу много да добију од имерзивног учења, јер им оно помаже да теорију примене у пракси, боље задрже знање и повећају ангажовање. Користећи ВР уређаје, ученици могу да учествују у симулацијама и играма као да су физички тамо. На пример, 3Д илустрације могу им помоћи да разумеју како одређени комад машине ради или како математички концепт изгледа у стварном животу. Мана ВР технологија је дужина коришћења тако да лекције треба да буду кратке.
- Унапређење гејмификације: Предности гејмификованог учења чини учење забавним, побољшава решавање проблема, нуди повратне информације у реалном времену и побољшава целокупно искуство учења. Коришћењем виртуелних светова, гејмификацију можемо

применити на други ниво, пошто су корисници унутар игре. Инструктори могу креирати активности засноване на играма које ученици могу да заврше у окружењима која личе на сценарио из стварног живота.

#### 4.4.2 Дигитални двојници

Дигитални двојници су виртуелна копија опипљивог ентитета (као што су мотори возила или људи) или нематеријалног система (као што су производни процеси или маркетиншки системи) који се може анализирати зависно или независно од свог парњака у стварном свету. NASA је користила сличан концепт, где су имали физичке реплике своје летелице на Земљи док су стварне биле у свемиру. Ово се показало кључним у мисији *Apollo 13*, где су инжењери на Земљи могли да утврде проблем и пронађу решење са истим средствима као и астронаути. Такви подухвати су на крају уступили место потпуно дигиталним симулацијама примењеним у различитим секторима [312].

Дигитални двојник спаја вештачку интелигенцију, виртуелне светове и виртуелну реалност за креирање дигиталних модела објеката, система или процеса из стварног света. Ови модели се затим могу користити за подешавање и прилагођавање окружења како би се проучио утицај на одређена дешавања и извођење експеримената у стварном свету. Предузећа широм света желе да користе дигиталне двојнике у широком спектару апликација, у распону од инжењерског дизајна сложене опреме и окружења до прецизне медицине и дигиталне пољопривреде. Међутим, до данас, апликације су биле веома прилагођене и доступне само за случајеве високе вредности, као што су рад млазних мотора, индустријских објеката и електрана. Сада водеће технолошке компаније као што је AWS раде на смањењу трошкова и поједностављењу примене ове технологије, чинећи решење лакшим и доступнијим свим компанија да изграде своје дигиталне двојнике [313]. Такође, прототип који ће бити описан у наставку рада поседује виртуелне копије уређаја из стварног света које корисници могу да анализирају (слике 4.4.2.1 и 4.4.2.2).



Алцхајмерова болест и епилепсија. Клиничка испитивања на моделу требало би да почну 2023. године [314].

- *Entire Human*: предвиђа се да ће једног дана сваки човек имати дигиталног двојника, који се може користити за дизајнирање третмана по мери за ту особу када се разболи, као и за моделирање утицаја животних избора на само здравље. Користећи јединствени геном те особе, биће могуће предвидети ефекте различитих лекова, пружајући увид у најбоље опције лечења ако је особа погођена стањима као што су рак или Паркинсонова болест. Ово ће минимизирати изгубљене трошкове неуспешних програма лечења који никада нису успели због генетике пацијента и продужиће животни век [315].
- *Los Angeles Transport*: Министарство саобраћаја Лос Анђелеса удружило се са Фондацијом за отворену мобилност како би створило дигиталног двојника градске саобраћајне инфраструктуре засноване на подацима. За почетак, моделираће кретање и активност решења за микро мобилност као што је градска мрежа бицикала за заједничку употребу и електронских скутера. Након тога ће се проширити на услуге дељења возње, паркирање возила и нова решења за мобилност која ће се појавити, као што су аутономни такси дрoнови [316].
- Двојник града Шангаја: Центар за урбане операције и управљање у Шангају изградио је као дигиталног двојника града од 26 милиона становника, који моделира 100.000 елемената од објеката за одлагање и сакупљање отпада до инфраструктуре за пуњење електронских бициклана, саобраћаја и локације стамбених зграда. Фирма 51World која стоји иза пројекта, користи податке са сателита и дрoнова за конструисање модела, који, између осталог, помаже властима да планирају и реагују у одређеним околностима. Такође се може користити за симулацију ефеката природних катастрофа као што су поплаве да би се помогло у планирању [317].
- *SoFi Stadium*: спортски комплекс у Лос Анђелесу има свог дигиталног двојника, који моделира стадион и кампус Холивуд Парк од 300 хектара. Изграђен док је сам стадион био у фази изградње (почевши



од 2020. године), он прикупља податке у реалном времену из сваког подручја рада парка у јединствену платформу која се може користити за одговарање на питања свих од организатора догађаја који желе да искористе простор до самих запослених. Корисници могу да сарађују са моделом преко продавнице апликација, где могу да се примене специфичне функционалности са којима треба да раде [318].

- **Први 3Д одштампани мост на свету:** 12-метарски челични мост преко у центру Амстердама је изузетан због чињенице да је то први пешачки мост који је у потпуности изграђен путем 3Д штампања. Такође је јединствен због чињенице да има свог дигиталног двојника. Сензори прикупљају податке који се користе за изградњу дигиталног двојника, који се затим могу користити за анализу перформанси структуре док је под стресом током свакодневне употребе. Ово је посебно важно имајући у виду да је то први мост који је изграђен коришћењем ове технологије, а више података о безбедности и снази 3Д штампаних структура је од виталног значаја ако ће 3Д штампачи постати главни инжењерски алат у будућности [319].
- **Двојник Тесла аутомобила:** Тесла поседује дигиталну симулацију сваког свог аутомобила, користећи податке прикупљене са сензора на возилима. Ово омогућава алгоритмима компаније да одреде где ће највероватније доћи до кварова и минимизирају потребу власника да одвозе своје аутомобиле у сервисне станице ради поправке и одржавања. Ово смањује трошкове компаније за сервисирање аутомобила који су под гаранцијом и побољшава корисничко искуство [320].

#### 4.4.3 Фотограметрија

Фотограметрија је наука о мерењу фотографија и издвајања 3Д информација из фотографија, посебно за проналажење тачних положаја тачака на површини коришћењем техника као што је трангулација. Процес укључује снимање

преклапајућих фотографија унутар дефинисаног простора и њихово претварање у 2Д или 3Д дигиталне моделе. Примењује се приликом мерења и снимање сложених 2Д и 3Д поља кретања. Фотограметрију често користе геодети, архитекте, инжењери и извођачи за креирање топографских мапа, мрежа, облака тачака или цртежа заснованих на стварном свету. Примери су *Google Maps* где можемо већ генерисане локације или направите сопствени 3Д приказ своје имовине а затим додати на сервер. Постоје две основне врсте фотограметрије: ваздушна и блиска. Што се тиче технологија користе се ласерски сензори (LIDAR, *Light Detection and Ranging* и SLAM, *Simultaneous localization and mapping*) [321] и слике са дигиталних камера (SFM, *structure from motion*) [322].

Ваздушна фотограметрија коришћењем беспилотних летелица за производњу фотографија из ваздуха може претворити усликан простор у 3Д модел. Беспилотне летелице су олакшале безбедно снимање тешко доступних подручја у којима традиционално снимање може бити опасно или непрактично. Фотограметрија блиског домета је када се слике снимају ручном камером или камером постављеном на статив. Резултат ове методе није прављење топографских карата, већ прављење 3Д модела мањег објекта. Може се применити код скенирања глумаца или других мањих модела што је случај код развоја фотореалистичних видео игара и виртуелних светова [323]. Видео игре које користе фотограметрију постају преовлађујуће захваљујући висококвалитетном визуелном приказу предмета из стварног живота и реалистичној графици [257].

Процес за генерисање 3Д фотореалистичних модела можемо видети на примеру игре *Code Alkonost* [324]. Коришћењем софтвер за производњу игара који могу да прикажу графику високог квалитета, процес за генерисање укључује: *Unreal Engine 5* [77], *MetaHuman* [325], *Blender* (анимације и моделовање) [326], док се за фотограметрију користи софтвер *RealityCapture* [327], *VisualSFM* [328] или *Meshroom* [329]. Циљ решења је да се омогући студијима за развој игара приступачан процес да праве 3Д виртуелне глумце и окружења. Виртуелне глумце је могуће направити комбинацијом софтвера за фотограметрију и *MetaHuman* алата за прављење фотореалистичних аватара. Док за потребе сликања глумаца можемо да користимо обичну дигиталну камеру или паметни телефон како би снимили фотографије од којих ће софтвер за фотограметрију спојите у 3Д модел, прво

креирањем облака тачака а затим саме површине модела. Потребно је урадити најмање 50 фотографија објеката или особе из различитих углова и битно је да се особа или објекат не померају током снимања. Глумац седи или стоји док на лицу не сме да има директну сунчеву светлост или јаке сенке, амбијентално осветљење се препоручује. Одећа није превише битна уколико се скенира само лице, али треба избегавати чврсте боје, посебно белу, јер софтвер за фотограметрију то теже решава пошто треба да нађе места преклапања између слика [330].

Што се тиче генерисања 3Д модела кроз фотограметрију, подаци из физичког света које је снимила камера се отпремају на рачунар који захтева више рачунарске снаге (препоручују се графичке картице више класе) и на њему се ради интензивно упаривање фотографија и рад на спајању. Након тога креће генерисање модела што може да траје и неколико сати, ово зависи од квалитета модела и броја полигона. На крају треба добијени модел дорадити и очистити од шумава помоћу доступног 3Д алата, а затим коришћењем *MetaHuman Mesh* алата пројектовати модел лица на самог аватара. Уколико желимо да добијемо што бољи модел препоручују се камере са LIDAR сензорима јер омогућавају дубинско скенирање, *iPhone 12* и новији модели поседују ове сензоре тако да добијен модел захтева минималне или скоро никакве дораде након што се модел из генерише [331].



Сл. 4.4.3.1 Скенирање лица помоћу фотограметрије.

Описан процес можемо користити за скенирање људи (наставника и ученика), и окружења (учионице) које можемо додати као аватаре или моделе унутар виртуелног света [332].

## 5. Предлог платформе и имплементација прототипа

Савремена заједница има нове захтеве и последњих неколико година учење помоћу рачунара и мобилних уређаја је постало веома популарно. Постоји потражња за решењима која ће радити на модерним ВР уређајима независно од тога да ли је апликација прављена искључиво за ВР или има подршку за ВР уређаје преко персоналних рачунара или конзола [7, 50]. Решење треба да омогући повезивање на ВР уређаје за персоналне рачунаре. Учење на даљину нам омогућава приступ снимљеним предавањима, праћење резултата током трајања обуке итд. Поред тога, постоје захтеви за активним учествовањем током трајања сесија, директна комуникација са предавачем и учесницима и остали елементи који постоје у традиционалном образовању а нису присутни у учењу на даљину [118, 145]. Образовни софтвер као *Sloodle* је зависан од друге платформе (*Second Life*) што захтева инсталацију додатног или основног софтвера што је случај и код осталих решења као што су *Minecraft* или *Fortnite*. Решење које ће бити представљено у дисертацији је платформа за учење и сарадњу кроз примену виртуелних окружења и метаверзум концепта. Циљ платформе је да кроз виртуелна окружења корисник може да развија своје техничке, интелектуалне и социјалне вештине, коришћењем техника учења кроз игру. На слици 5.1 је приказана софтверска архитектура платформе.



Сл. 5.1 Софтверска архитектура решења.

Софтверска архитектура се састоји од компоненти које чине основу за израду виртуелних светова и система за управљање учењем. Поред тога додати су још виртуелни агенти, заштита идентитета и блокчејн мрежа који заједно представљају иновативну софтверску архитектуру под називом *VoRtex*. *VoRtex* софтверска архитектура представља решење за дизајн виртуелних светова за потребе учења на даљину. Неки од елемената софтверске архитектуре су имплементирани унутар прототипа ради валидације решења. Ови елементи представљају језгро платформе. Језгро платформе има за циљ да корисницима омогући следеће функционалности:

- Различите типове корисника (наставник и ученик),
- контрола приступа (аутентификација и ауторизација),
- учење коришћењем персоналних рачунара,
- виртуелне учионице (држање презентација и часова).

Наведене ставке биће имплементиране унутар прототипа и треба да омогуће сарадњу између корисника коришћењем гејмификације. Остале компоненте као што су агенти и блокчејн компоненте захтеваће од корисника додатна подешавања која укључују активирање *online* сервиса. У наставку је описан предлог софтверске архитектуре и прототип виртуелног света.

## 5.1 Архитектура решења

Предложени софтвер је имерзивно виртуелно колаборативно окружење за учење (VOU) са подршком за више корисника где корисници могу да приступе виртуелним окружењима и сарађују са удаљеним инструкторима. Садржај ће бити архивиран и дељен међу различитим корисницима. Предложена архитектура треба да буде прилагодљива за технологије виртуелне реалности и прати метаверзум концепт. Представља LMS систем [333] за учење на даљину [334] који комбинује виртуелне светове и блокчејн технологије.

### 5.1.1 Виртуелно окружење за учење

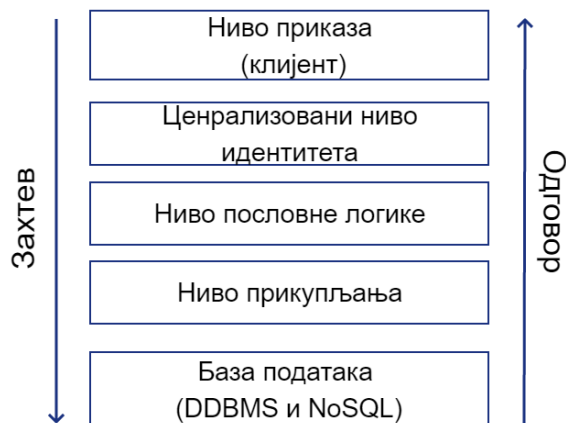
Виртуелно окружење за учење (VOU), у даљем тексту решење, представља платформу која прати дизајн усмерен ка корисницима (енгл. *user-centered design*). Главне карактеристике (енгл. *features*) решења су веб платформа за организацију лекција, система за контролу приступа и микролекција тј. сесије које се организују унутар виртуелних учионица.

Виши ниво (енгл. *high-level*) софтверске архитектуре је приказан на сликама 5.1.1 и 5.1.2. Решење представља напредно виртуелно окружења за учење (VOU) које има подршку за имерзивну наставу за више корисника који могу да сарађују и уче од инструктора. Имерзивну наставу је могуће обавити помоћу апликације виртуелне реалности и десктоп рачунара са равним екраном. Обе апликације су развијене помоћу *Unity Game Engine* алата за развој видео игара. Фокус ће бити на десктоп апликацији пошто су персонални рачунари најраспрострањенији тако да развијени прототип може да користи што већи број корисника. Софтверску архитектуру прати лабаво повезан дизајн (енгл. *loosely coupled design*) где можемо да унапредимо сваки елемент независно од другог и додамо нове функције. Највиши слој архитектуре је ниво приказа који визуелно приказује дешавања у виртуелним окружењима. Централизован ниво идентитета је слој за контролу приступа и проверу корисника који приступају платформи. Ниво пословне логике је ниво који обавља све функције унутар окружења као што су интеракције са

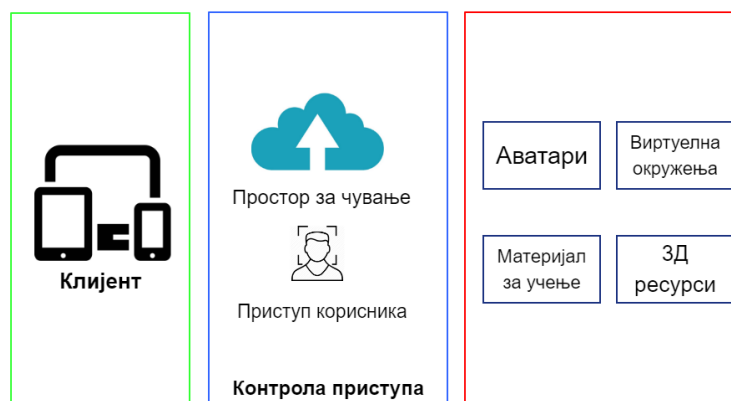
окружењем. Ниво прикупљања служи за припрему података који се читају или пишу унутар базе података. Слој базе податка је задужен за везу између веб платформе и клијентске апликације.

Виртуелна учионица треба да прати стандарде за креирање дигиталног садржаја:

- Отворени простор са централном површином и јасним границама у којима корисници имају слободу кретања и интеракције.
- Окружење где ученици могу да манипулишу 3Д објектима.
- Окружење где ученици могу да комуницирају коришћењем система за ћаскање.
- Лекције су јединствено дизајниране на основу теме са функцијама гејмификације као што је остваривање достигнућа.
- Свака лекција треба да поседује интерактивно окружење на којем наставници имају административне привилегије за манипулацију садржајем лекција.



Сл. 5.1.1 Архитектура решења вишег нивоа заснована на слојевима.



Платформа за развој виртуелних светова

Сл. 5.1.2 Архитектура решења вишег нивоа заснована на компонентама.

Циљ прототипа је да представи следеће карактеристике напредног ВОУ решења:

- Умрежавање (сервер и клијенти),
- комуникација помоћу система за ћаскање,
- коришћење дигиталних аватара,
- интерактивни садржај,
- привилегије између корисничких улога,
- преглед окружења из првог (ВР поглед) и трећег лица (кинематографски поглед),
- интеграција блокчејн технологија за мотивацију корисника помоћу токена.

### 5.1.2 Више платформска подршка

Решење има верзије за персоналне рачунаре (*Windows*) и ВР наочаре, развијено је помоћу *Unity 2019.3.6* верзије. *Windows* верзија омогућава управљање помоћу тастатуре и миша, подржава све главне (енгл. *core*) карактеристике платформе. Што се тиче ВР верзије, корисник може да управља својим аватаром помоћу ВР уређаја. Имплементирани прототип садржи два главна дела: клијентску апликацију (имплементирана унутар алата за развој игара) и позадинску серверску



(веб) апликацију (енгл. *backend*). Клијентска апликација је развијена помоћу *Unity Game Engine* алата, *UNet* и *Forge Networking* библиотека. ВР можемо омогућити помоћу *Unity* додатака као што су *OpenXR*, *Unity XR* или *Cardboard* за мобилну верзију. Помоћу клијентске апликације корисник може да контролише свог аватара и манипулише интерактивним објектима у окружењу користећи подржане периферије за дати уређај.

### 5.1.3 Умрежавање

За мрежни систем, решење користи *UNet* мрежну библиотеку која је део *Unity* алата, док је рад са базама података подржан коришћењем PHP-а и *MySQL* базе података. Интерактивни објекти се могу синхронизовати међу корисницима на серверу као што је панел за презентацију где корисник може да промени слајд презентације и рефлектује ову промену на све кориснике у сесији. Наставник ученицима даје овлашћење за садржај у виртуелном свету. На основу клијент-сервер умрежавања, наставник креира сервер на који се студенти могу повезати током предавања као клијент. Наставник као домаћин сесије има привилегију да омогући ученицима да манипулишу 3Д садржајима као што су панели за показивање слика и видео презентација. Помоћу ове функције клијенти би могли да мењају слајдове презентације синхронизовано са сервером и свим клијентима, уколико им домаћин сесије дода привилегије током сесије [335].

### 5.1.4 Ресурси за учење унутар виртуелног окружења

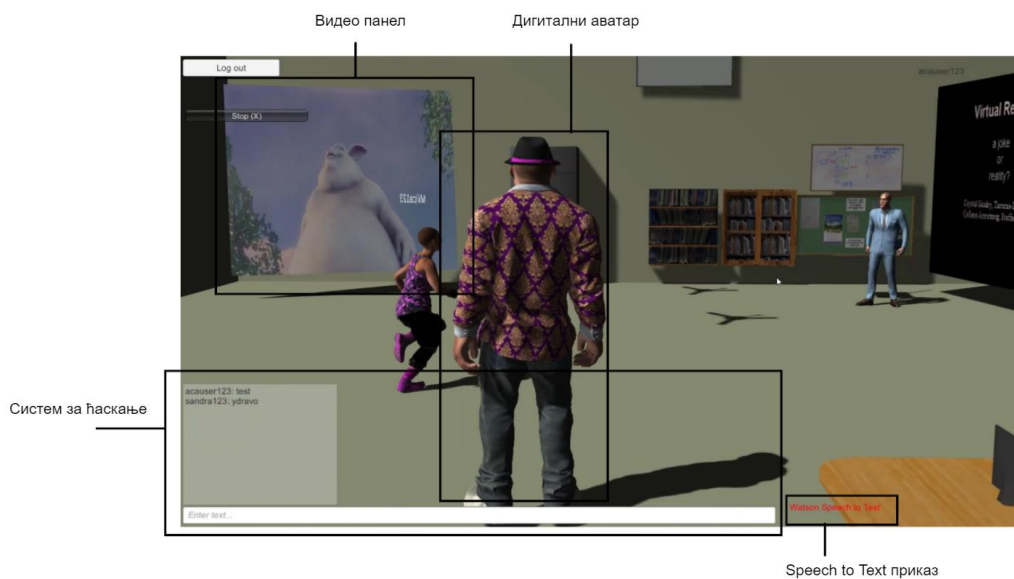
Прототип пружа перспективу из првог и трећег лица (слике 5.1.4.1 и 5.1.4.2). Прво лице је омогућено са циљем да пружи интерфејс за ВР уређаје које корисници могу директно да повежу на свој рачунар, док је треће лице за кориснике који желе да виде свог аватара унутар виртуелног окружења. Током предавања, корисник може да комуницира са наставником или да ступи у интеракцију са панелом за презентацију (десна страна слике 5.1.4.1) и другим интерактивним објектима (слика 5.1.4.2). Корисници могу да комуницирају помоћу система за ћаскање (доле лево

на слици 5.1.4.2). Систем за ћаскање је додат као засебна компонента са циљем да се корисницима омогући доступност у мрежном систему ако се сесија заустави (квар на нивоу самог виртуелног окружења), јер у том случају можемо користити систем за ћаскање са циљем да проверимо са другим корисницима које мере да предузмемо да решимо проблем. Гласовну комуникацију је могуће остварити и преко *Discord* апликације која може да ради паралелно са прототипом и за разлику од текстуалне комуникације не захтева графички кориснички интерфејс [378]. Приказ окружења кроз *Google Cardboard* ВР је приказан на слици 5.1.4.3.

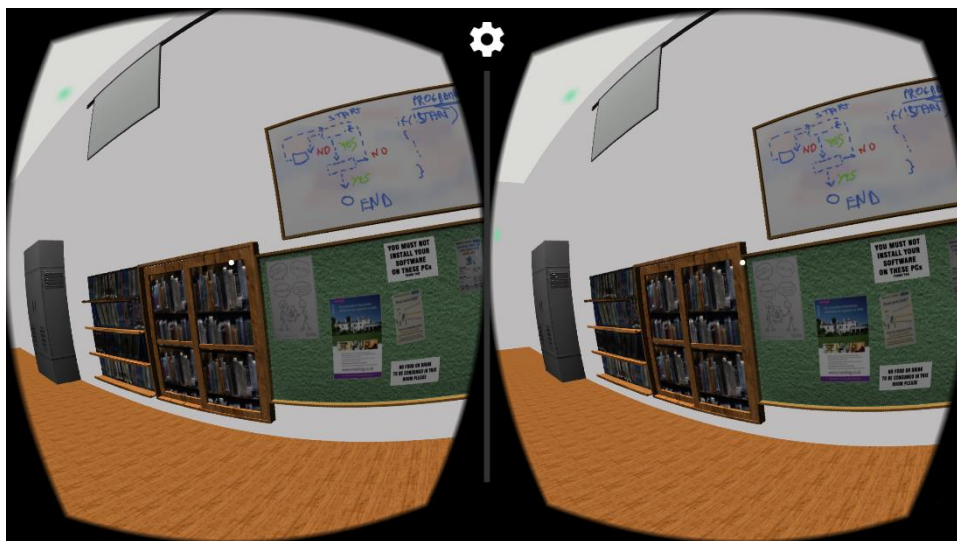
За потребе прототипа креирана је микролекција унутар неколико различитих виртуелних окружења и са 3Д садржајем који подржава учење у стварном животном окружењу. Микролекција садржи дигиталне двојнике као што су сто, столице, табла, пројектор, видео и презентациони панел.



Сл. 5.1.4.1 Виртуелно окружење (*Windows* десктоп, перспектива из првог лица).



Сл. 5.1.4.2 Виртуелно окружење (*Windows* десктоп, перспектива трећег лица).



Сл. 5.1.4.3 Виртуелна учионица (VR приказ).

## 5.2 Компоненте за гејмификацију

У наставку су описане компоненте решења које омогућавају стварање садржаја и гејмификацију окружења. Микролекције и веб платформа представљају методе за развој 3Д симулација за подршку држању наставе унутар виртуелног

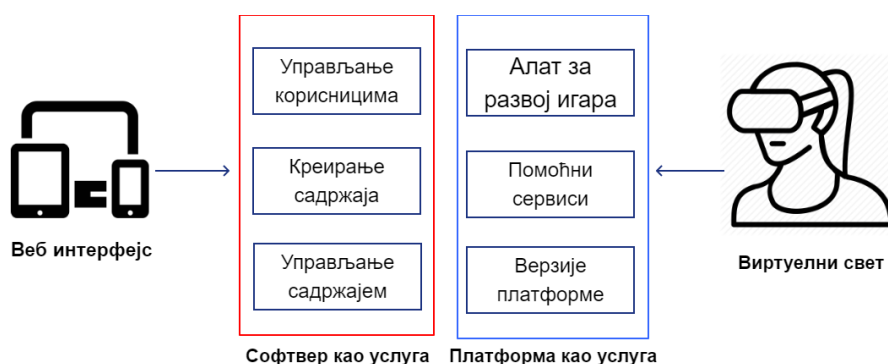
колаборативног окружења коришћењем гејмификације и технологија виртуелне реалности. Ради заштите идентитета корисника унутар виртуелног окружења развијена је компонента заштите идентитета на нивоу целе платформе.

### 5.2.1 Веб платформа

Виртуелно колаборативно окружење за образовне сврхе треба да обезбеди графички кориснички интерфејс и контролу над виртуелним ресурсима. Окружење може бити креирано на серверу или персоналном рачунару, треба да садржи алате за стварање садржаја и праћење активности корисника.

Веб платформа је алат који омогућава креирање виртуелно колаборативних окружења за ученике користећи веб апликацију [338]. Ова компонента представља предлог метода за развој 3Д симулација за подршку држању наставе унутар виртуелног колаборативног окружења коришћењем гејмификације и технологија виртуелне реалности. У поређењу са клијентском апликацијом (развијеном у алату за развој видео игара), веб платформа пружа већу флексибилност у креирању садржаја. Софтверски дизајн компоненте веб платформе приказан је на слици 5.2.1.1. Веб платформа обезбеђује алате за изградњу виртуелног окружења [339]. Компонента управљања обрасцима (енгл. *pattern management*) се користи за генерисање окружења на основу сачуваних шаблона. Компонента управљања корисницима (енгл. *user management*) се користи за обезбеђивање права корисницима. Модул за управљање садржајем (енгл. *content engine*) је посвећен руковању свим садржајем који се користи у оквиру платформе као што су 2Д, 3Д модели, аудио и видео датотеке. Корисник може да изабере модел свог аватара који ће бити његов представник у виртуелном окружењу. Управљање контролом верзија (енгл. *version control management*) пружа функционалност за контролу верзија тако да се развијени виртуелним окружењима могу надоградити или вратити на старију верзију. Комуникација екстерне услуге (енгл. *external service communication*) омогућава интерфејсе за услуге ван дефинисане инфраструктуре. За изградњу веб платформе користе се технологије засноване на вебу као што је *JavaScript*, док су на позадинској страни PHP са *MySQL* базом података.

Помоћу веб платформе је могуће пратити активности ученика и њихов напредак током обављања задатака унутар лекција. Задаци се чувају унутар базе података као достигнућа. Наставници могу унети назив микролекције и категорију којој лекција припада. Такође, наставници могу да направе своју микролекцију избором окружења и интерактивног материјала који могу додати у само окружење. Интерактивни материјали могу бити 3Д објекти унутар виртуелних окружења као што су индустријске машине и аутомобили за демонстрацију одређене функционалности, као и панел презентације где су приказани детаљи о самој лекцији (слике 4.4.2.1 и 4.4.2.2).



Сл. 5.2.1.1 Дизајн веб платформе.

## 5.2.2 Контрола приступа

Предлог система заштите идентитета корисника унутар виртуелног окружења омогућава аутентификацију и ауторизацију корисника у виртуелном окружењу. Заштита идентитета корисника се користи за блокаду приступа непознатим учесницима унутар виртуелног окружења. Да би се сачувао интегритет података унутар сваког записа, доказ интегритета и валидација се трајно могу преузети из базе података. За приступ платформи користимо вишефакторску верификацију идентитета, на овај корак смо се одлучили јер коришћење система као препознавање лица има пропусте [336]. Неовлашћене активности је тешко спречити због дигиталних идентитета, тако да биометријски или скенирани документи ради верификације могу бити украдени и поново коришћени и због тога је неопходно отежати корисницима да се представљају као неко други. Предложено решење користи вишефакторску верификацију идентитета. Слична решења раде

проверу путем SMS-а где се обезбеђује кориснику PIN код за приступ платформи, уобичајена је пракса код банкарских и других система за контролу ризика од неовлашћеног приступа [340].

Ауторизацијом управља домаћин сесије (наставник) унутар виртуелне учионице. Ово укључује манипулацију над 3Д садржајима као што су презентациони панел и интерактивни објекти, који су синхронизовани са сервером и осталим клијентима током сесије. Остали корисници (ученици) не могу да мењају стање 3Д садржаја све док им наставник не омогући права приступа. Наставник даје привилегије корисницима тако што изабере корисника унутар клијент апликације [335].

Наше решење укључује одвојене лозинке за клијент апликацију и веб платформу. Такође, контрола приступа кроз ниво пословне логике уноси насумичне податке (енгл. *salts*) ради додатне заштите лозинке у бази података. Након аутентификације на платформи, корисници могу приступити различитим виртуелним учионицама на основу овлашћења модератора или у нашем случају наставника.

### 5.2.3 Микролекције

Микролекције су сесије (лекције) које припрема наставник користећи веб платформу или клијентску апликацију на десктоп рачунару. Микролекције служе за имплементацију ресурса за учење унутар виртуелног окружења. Коришћењем гејмификације, циљ платформе је да мотивише корисника и сарадњу између корисника. У поређењу са видео предавањима (вебинарима), микролекција је виртуелна инстанца коју је креирао наставник (власник сесије), подржан неопходним алатима за одржавање наставе. Коришћењем ове компоненте корисници могу да разумеју вредност учења заснованог на гејмификацији кроз виртуелну учионицу. Практични примери микролекција су учионице са 3Д материјалом (сто, столице, табла, пројектор за презентације, итд.).

Микролекције треба да прате правила развоја видео игара и гејмификације. У гејмификованом окружењу, само искуство учења треба да буде интуитивно, посебно због употребе различитих механика игре (на пример: табеле са резултатима, друштвена повезаност итд.). Мотивација је процес који се користи за алокацију енергије и да би се максимизирало задовољење потреба, ученик мора бити ангажован у процесу који ће довести до задовољења тих потреба коришћењем механика игре. У многим случајевима комбинација различитих механика игре обезбеђује адекватно окружење са циљем да задовољи мотивационе потребе и да прилагоди окружење корисницима лекција.

Поред наведеног, корисници унутар микролекције могу експериментисати и комуницирати коришћењем различитог 3Д садржаја што чини решење безбедним у односу на стваран свет. Такође, виртуелно окружење је безбедно тако да корисници могу слободно да се крећу без могућности повреде. Унутар платформе корисник може да изабере неколико различитих окружења за извођење лекција, окружење може бити учионица, град или парк (слике 5.2.3.1-5.2.3.3). Подешавања су могућа преко веб платформе.



Сл. 5.2.3.1 Виртуелна учионица.



Сл. 5.2.3.2 Виртуелни парк.



Сл. 5.2.3.3 Виртуелни град.

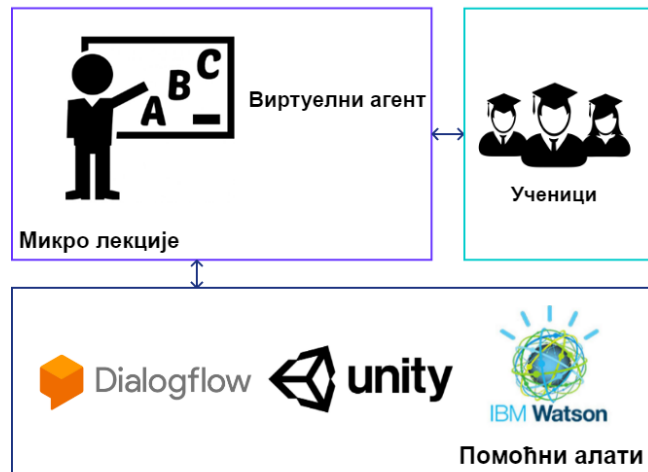
#### 5.2.4 Интелигентни агенти

Корисничко искуство унутар виртуелног окружења може да се побољша коришћењем интелигентних агената (виртуелни асистенти, енгл. *chatbot*). Уз подршку вештачке интелигенције, агент препознаје садржај и разуме шта садржај значи у одређеном контексту који може бити у облику текста или гласа.

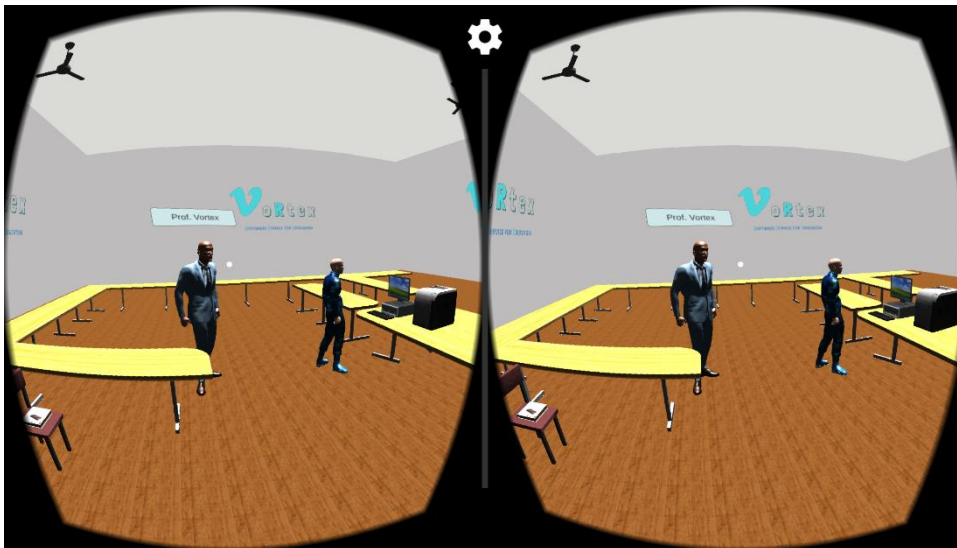


Агенти могу да користе информације из различитих извора, користећи алате за обраду природног језика (енгл. NLP) у реалном времену као што су *Microsoft LUIS*, *IBM Watson*, *Amazon Lex*, *Google Dialogflow* [341] и *ChatGPT* [376]. Виртуелни асистенти могу повећати продуктивност и аутоматизовати процес, посебно у образовном сектору које се ослањају на комуникацију и решавају низ студентских питања. На основу архитектуре софтвера, можемо да користимо више оквира за машинско учење који нам омогућавају да додамо функције као што су препознавање емоција, говора, и разумевање језика. За потребе прототипа дизајнирана је компонента за интеграцију агената (енгл. *non-player character*, NPC) унутар виртуелног окружења (слика 5.2.4.1). Компонента интелигентног агента се користи да омогући когнитивне функционалности NPC професора којег користимо за студентска питања унутар виртуелног окружења (слика 5.2.4.2) [342]. Професор *VoRtex* је водећи NPC унутар решења и представља маскоту решења (слика 5.2.4.2).

Корисници би требало да комуницирају са интелигентним агентом користећи гласовне контроле. Софтвер за препознавање говора (енгл. *speech to text*) узима глас корисника као улаз и одређује које су речи изговорене као излаз који се обично састоји од графикона речи. На основу генерисаног излаза, агент даје одговор кориснику. Изворни код платформе садржи *IBM Watson* додатак који је могуће активирати кроз *Unity* пројекат. Како би активирали интелигентног агента потребно је да активирамо *IBM Watson online* сервисе и подесимо вредности унутар *Unity* пројекта. *IBM Watson* сервиси додају функцију клијентској апликацији која у виртуелном окружењу омогућава корисницима и агентима да комуницирају користећи услуге „текста у говор“ и „говора у текст“ [337].



Сл. 5.2.4.1 Дизајн компоненте за интеграцију интелигентних агената.



Сл. 5.2.4.2 Професор VoRtex унутар виртуелног окружења (VR поглед).

### 5.3 Блокчејн компонента

Регулација ресурса између корисника виртуелног окружења и награђивање биће изведено коришћењем блокчејн технологија, добијањем токена кроз ангажовање или јединствене незаменљиве виртуелне објекте (NFT) за успешно обављену микролекцију. Тренутни проблеми који су уобичајени у виртуелним световима и видео играма су монетизација садржаја, скалабилност, креирање средстава и поверљивост креираних виртуелних објеката. Једно од решења је

прилагођавање децентрализованог система заснованог на блокчејну. Теоретски, децентрализовани системи попут блокчејна могу да обезбеде тренутни и непроменљиви пренос података. У наставку биће детаљно описана блокчејн компонента.

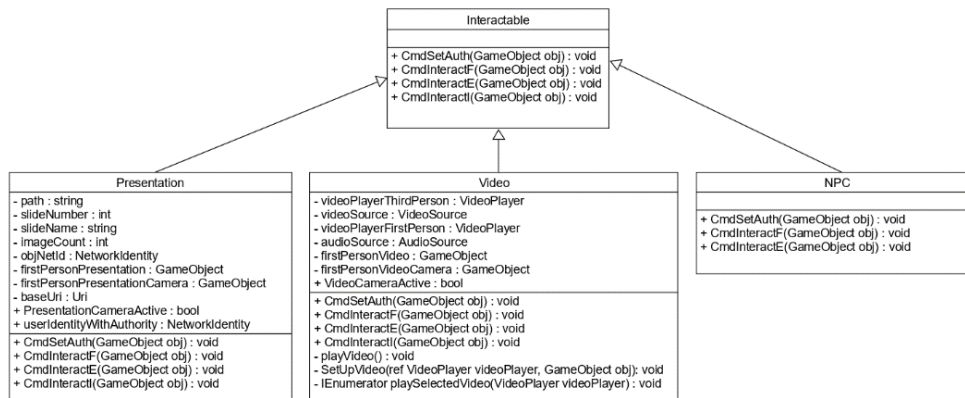
### 5.3.1 Награђивање корисника унутар виртуелног окружења помоћу гејмификације и блокчејн технологија

Слој ангажовања корисника пружа могућност добијања токена кроз активности корисника унутар виртуелног простора помоћу гејмификације. Гејмификација је метод који обезбеђује ефикасан начин учења у контексту ангажовања и мотивације учесника коришћењем елемената дизајна игара, као што су достигнућа, нивои, ранг-листе и решавање проблема. У нашем примеру користимо листу достигнућа. Листа достигнућа садржи следеће активности кад се корисник први пут упознаје са платформом, то су: интеракција са презентацијом и интерактивним објектима (аутомобил). Идеја креирања садржаја и ангажовања корисника уведена је са циљем да мотивише кориснике да обављају задатке. Пример је монетизација виртуелних некретнина (енгл. *digital assets*) у *Second Life*-у како би се омогућило корисницима да добију токене од дигиталног садржаја и задрже ауторска права. Проблем се може решити коришћењем јавних блокчејн мрежа. Највећа разлика између криптовалуте и токена је у томе што су криптовалуте изворна имовина блокчејна као што је *Bitcoin* или *Ethereum*, док су токени изграђени на постојећем блокчејну, користећи паметне уговоре. Најчешће је то ERC-20 стандард за токене [173].

За потребе награђивања корисника унутар виртуелног окружења помоћу гејмификације и блокчејн технологија креиран је слој јавног ангажовања корисника који укључује токен (VRC криптовалуту) [344] засновану на ERC-20 стандарду. Имплементација слоја јавног ангажовања заснована је на *Nethereum* пакету отвореног кода. Скуп технологија за развој поред наведеног укључују *MetaMask* за паметне новчанике, *Remix IDE*, *Etherscan*, док се тестирање ради на *Ethereum*

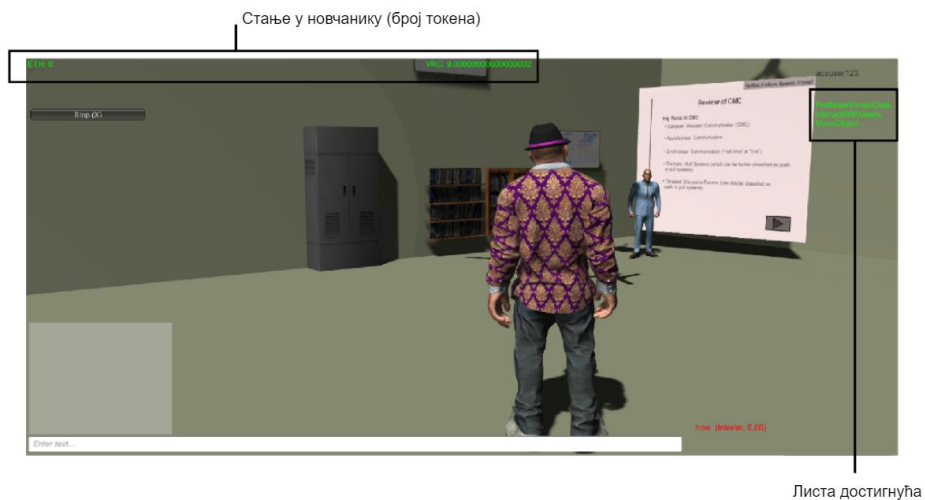
Ropsten тест мрежи (енгл. *testnet*) која је мигрирала на *Goerli* крајем 2022. године [345].

Корисник је награђен са VRC токеном сваки пут када означи нову ставку у виртуелном окружењу коју до сад није користио. Објекте који подржавају поменуте активности називамо интерактивним објектом. Дијаграм класа за интерактивне објекте приказан је на слици 5.3.1.1.



Сл. 5.3.1.1 UML дијаграм класа интерактивних објеката.

На слици 5.3.1.2 је приказан кориснички интерфејс. Корисник може да провери статус новчаника на врху екрана апликације и листу достигнућа у горњем десном углу екрана апликације. Након извршења радње над интерактивним објектом, блокчејн систем ће потврдити акцију провером тренутне листе достигнућа. Ако корисник није стекао ово достигнуће, онда ће слој ангажовања токена додати VRC токен кориснику на основу износа постављеног за то достигнуће. Случај употребе процеса добијања токена је представљен на слици 5.3.1.3.



Сл. 5.3.1.2 Кориснички интерфејс за VRC токене.

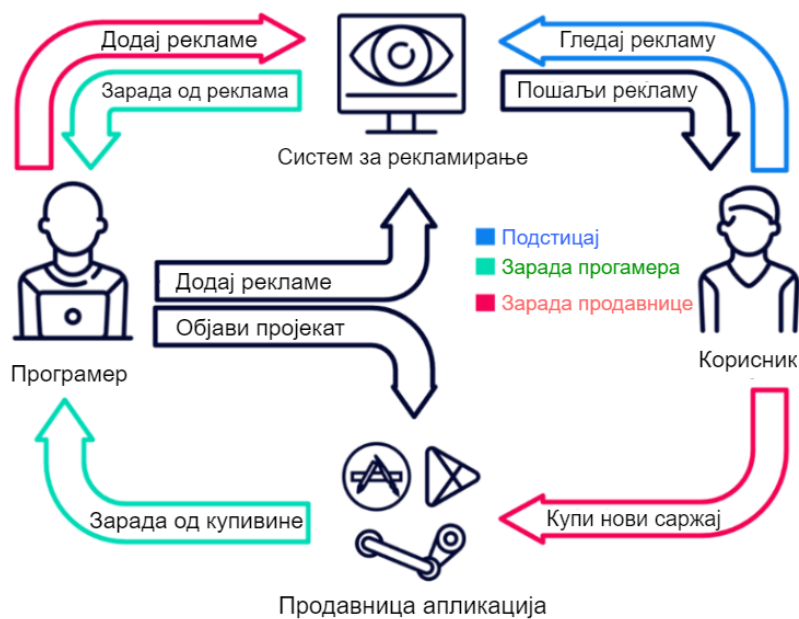


Сл. 5.3.1.3 Процес стицања токена кроз UML дијаграм случаја.

Процес креирања токена и подешавања унутар алата за развој биће описан у наставку.

### 5.3.2 Развој децентрализоване апликације

Као што је раније споменуто, блокчејн мрежа има могућност да створи децентрализоване апликације или апликације које не води централни ентитет. Као пример, погледајмо тренутни економски модел код видео игара *Free-To-Play* моделом (слика 5.3.2.1) [346, 347].



Сл. 5.3.2.1 Економија *Free-To-Play* модела.

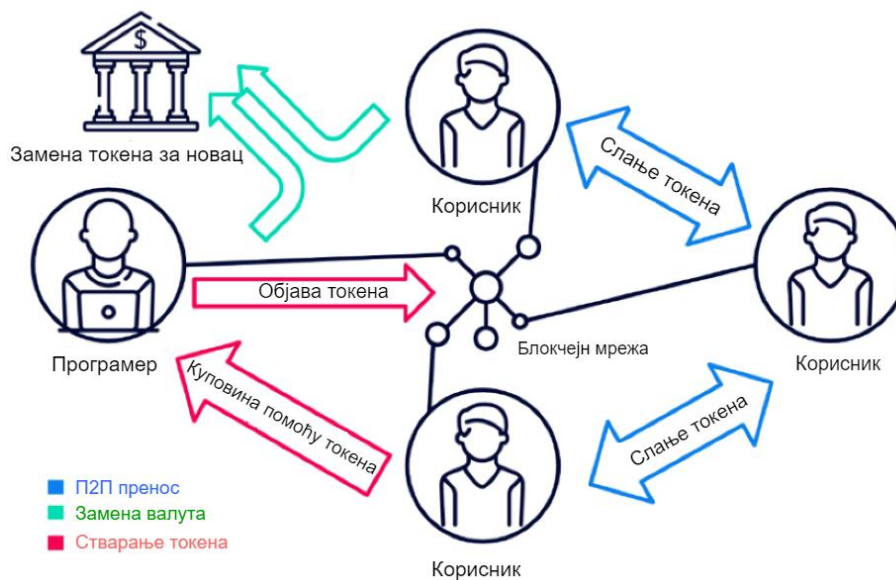
Унутар *Free-To-Play* економије, огласне мреже и продавнице апликација су централни ентитети из којих вредност долази. Вредност у овом случају је било која валута коју подржава централни ентитет (влада, банка и друго), као што су долари или еври. Овај модел је био стандард у последњих неколико година, а самим тим и компонента која утиче и на сам дизајн игре. *Twitch* игре које приказују оглас сваких неколико секунди оптимизоване су за овај екосистем. *Gacha* игре дизајниране су за играче да активно купују у апликацији кроз микротрансакције.

Питање је да ли програмери могу да децентрализују вредност даље од огласних мрежа и продавница апликација и уместо тога сами дизајнирају економију. Блокчејн и примена паметних уговора пружају ову опцију. *Ethereum* блокчејн омогућава програмерима да на једноставан начин креирају сопствену криптовалуту, као и да дефинишу правила која омогућавају проток криптовалуте међу корисницима. Предлог видео игара са децентрализованим системом треба да подржи следеће елементе [348]:

- Ликови у играма су приказани кроз јединствене аватаре играча, виртуелну репрезентацију стварних идентитета.

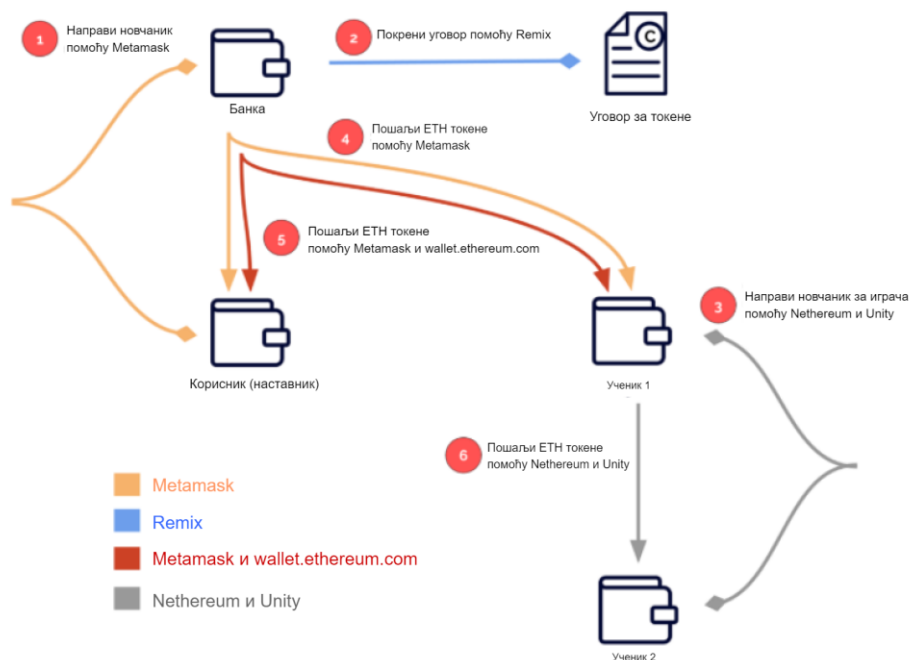
- Игре базиране на децентрализованим технологијама фокус стављају на стварању виртуелних предмета које је касније могуће заменити новцем из стварног света.
- Играчи могу да позову своје пријатеље на друштвеним мрежама, да комуницирају са другим играчима унутар окружења и да сарађују унутар виртуелног окружења.

За потребе наше платформе, креираћемо ERC-20 токен или стандардни токен који се може користити на *Ethereum* блокчејну. Преглед модела је приказан испод на слици 5.3.2.2.



Сл. 5.3.2.2 Децентрализована економија игара.

Да бисмо поставили економију игре, мораћемо да урадимо следеће кораке, креирати паметан новчаник и криптовалуту на мрежи који ћемо да користимо за потребе тестирања, затим тестирати мрежу слањем токена (слика 5.3.2.3).



Сл. 5.3.2.3 Процес стварања децентрализоване економије игара.

За потребе прототипа користимо *MetaMask* додатак за веб претраживаче. Новчаник ће чувати све токене који ће бити креирани коришћењем паметног уговора. Креиран је још један новчаник који се користи за пренос *Ether*-а (ETH) кориснику платформе. Један новчаник биће „Банка“ док је други „Корисник“ (наставник). Токен се прави тако што се изврши уговор о токenu на *Ethereum* блокчејну. Међутим, да би извршили уговор, морамо да имамо ETH за плаћање накнаде за трансакцију. На главној *Ethereum* мрежи то ће значити да треба купити *Ethereum* на берзи. Зато треба користити *Ropsten* тест мрежу која ће омогућити ETH за потребе тестирања тако што ће *MetaMask* преусмерити на одговарајућу локацију [349] где можемо да добијемо ETH на захтев. Након захтева добија се трансакциона веза која преусмерава на *Ropsten* адресу [350]. Помоћу *Etherscan* могуће је видети детаље о свим трансакцијама које су обављене на блокчејну и користи се за проверу успешно обављених трансакција на тест мрежи. Уколико је ETH послат на одговарајућу адресу стићи ће потврда од *Etherscan* везе и токен ће бити додат у *MetaMask* новчаник.

*Solidity* програмски језик се користи за креирање уговора [375]. Изворни код можемо написати помоћу *Remix* алата доступног на адреси *remix.ethereum.org*. Унутар *Remix*-а уносимо изворни код који ћемо пронаћи на *Ethereum*-овом веб сајту



(*ethereum.org/token*) који затим треба извршити. Извршавање уговора чека потврду са блокчејн мреже, док се *MetaMask* користи за преглед дневних трансакција. Када се уговор изврши онда је могуће додати нове токене помоћу адресе уговора са *Etherscan*-а, тако што се копира адреса у *MetaMask* и тако омогући праћење и пренос токена на *Ropsten* тест мрежи. Следећи корак је комуникација са криптовалutom користећи *Unity* [80] алат за потребе преноса токена преко новчаника другим корисницима платформе (ученици).

Креирање новчаника играча могуће је остварити помоћу *Nethereum* [351] и *Unity* алата, како би корисници могли да преузимају токене, такође ће морати да имају сопствене новчанике. *Nethereum* је .NET библиотека која се може користити унутар *Unity* алата. Како би се користио ново креиран токен, треба заменити адресу уговора о токenu са адресом уговора ново креираног токена. Након што се *Nethereum* интегрише унутар *Unity* алата, адресу уговора треба додати променом *Token Contract Address* поља унутар *Token Contract Service* компоненте. Треба изабрати објекат игре у хијерархијском приказу и променити адресу уговора токена у приказу инспектора у адресу уговора новог токена који је креиран (слика 5.3.2.4) [352].



Сл. 5.3.2.4. Подешавање адресе нове криптовалуте.

Ако је адреса уговора тачна, унутар апликације биће видљиви симболи и други детаљи о токenu када је покренемо унутар *Unity*-а. *Nethereum*-ова функција *EthCallUnityRequest* се користи за преузимање детаља о токenu. Након преузимања тачне адресе токена, наставник може кренути са креирањем новчаника за ученике и додати почетан број токена. Новчанике и токене је могуће додати помоћу *unity3d-blockchain-wallet* апликације. На крају, треба да се копира адреса новчаника и провери на мрежи да ли рачун сада има ЕТН пренет из банковног новчаника. Такође је потребно направити *Infura* [353] налог и копирати адресу за тест мрежу.

Треба напоменути, *MetaMask* нема функционалност за слање прилагођених токена, тако да треба користити *wallet.ethereum.org* са *MetaMask*-ом за аутентификацију новчаника. У веб претраживачу треба отворити *wallet.ethereum.org*. Треба имати инсталирано проширење за *MetaMask* унутар веб претраживача које аутоматски потврђује аутентичност новчаника и приказује његове детаље. Прва ствар коју треба урадити је додавање прилагођеног токена на страницу тако што унесемо адресу уговора токена. Након што додамо токен, биће омогућено слање токена другим налозима, тј. из банковног новчаника у новчаник

наставника и ученика. Свакако, треба омогућити слање токена користећи *Nethereum* и *Unity* алата. Како би се извршио пренос токена, након сваког достигнућа које корисник оствари позива се *SendFunds* функција унутар имплементације решења за јавни слој ангажовања. Након слања токена, апликација ће аутоматски отворити картицу у претраживачу да потврди трансакцију на блокчејн мрежи.

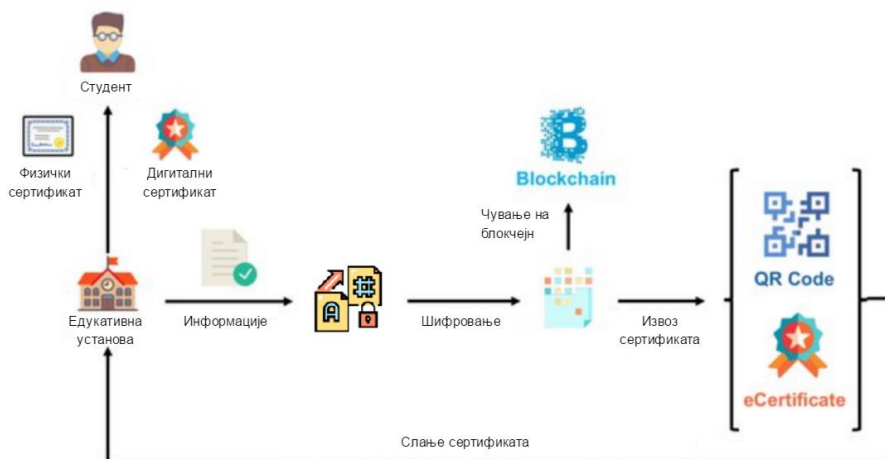
### 5.3.3 Регулација ресурса између корисника виртуелног окружења коришћењем блокчејн технологија

Решење омогућава корисницима да преузму јединствене незаменљиве дигиталне објекте (енгл. NFT) креиране помоћу ERC-1155 [39] стандарда уколико успешно обаве задатке. NFT-ови су сертификовани дигитални објекти који гарантују аутентичност власништва и служе за регулацију ресурса између корисника решења. Они користе исту технологију као и криптовалуте и стога су токени које дистрибуирају њихови творци јединствени, непроменљиви и шифровани тако да се разликују од својих копија. NFT могу заменити дипломе, признања или сертификате и потврдити академску акредитацију и достигнућа. Употреба токена смањује могућност фалсификовања приликом управљања евиденцијом ученика, праћења напретка доживотног учења и чувања образовних података. Још једна предност непроменљивих токена је приписивање ауторства творцима различитог садржаја или дела. Ученици проводе већину свог времена стварајући углавном оригиналне садржаје, у образовној области заштита ауторских права за радове и пројекте ученика се не разматра. Из тог разлога је неопходно креативно признање. NFT омогућавају да се ова достигнућа деле, дајући одговарајуће признање ауторима.

ERC-1155 стандард је популаран код већине NFT продавница тако да ћемо исти стандард користити у нашем решењу. Стандард омогућава да спојите више типова токена у односу на друге стандарде који захтевају примену посебног уговора унутар блокчејн мреже за сваки тип. Помоћу ERC-1155, можемо послати неограничен број ставки једном или више кориснику током трансакција чиме се

смањује гас и загушење на мрежи. Све функције преноса, одобравања, топљења и трговине (енгл. *transfer*, *approve*, *melt*, и *trade*) узимају низове као параметре, што омогућава да извршимо између 100 и 200 операција у једној трансакцији.

За потребе креирања NFT-а можемо користити платформу као што је *Opensea* и додамо у новчаник другог корисника како би имали контролу над самим садржајем користећи наше прилагођено решење. Као шаблон решења користимо ERC-1155 имплементацију са *Open Zeppelin* [354] где ћемо додати модификације за потребе нашег решења. Унутар конструктора чуваћемо адресу (код) до базе где ће бити издати сертификати за положен курс. Што се тиче функције додавања додаћемо идентификатор (адресу до дипломе) и *supply* број који за случај NFT-а треба да буде један, ако је већи од један онда се води као променљив токени код ERC-1155 стандарда. Што се тиче *minter* улоге, ову могућност имаће администратори решења, професори и остале улоге које су са истим или већим привилегијама. Унутар *uri* функције треба да додамо идентификатор сертификата која ће вратити адресу сертификата у нашем случају сертификата у формату слике. За сваку успешно обављену микролекцију корисник ће добити везу до свог сертификата који ће бити генерисан од стране професора након што провери достигнућа коју је ученик обавио током лекције. Сертификат треба да направи едукативна установа након што провери резултате (листу достигнућа) и дода сертификат на корисников налог [355]. NFT генерисање ради независно од платформе и након што је сертификат додат у базу података, ученик може да преузме документ са веб платформе.



Сл. 5.3.3.1. Извоз дигиталних објеката (сертификат) кроз блокчејн мрежу.

Прототип користи *Ropsten* тест мрежу која покреће блокчејн мрежу за потребе награђивања корисника. *Ropsten* и слична решења су склона променама, тако да ће у току 2023. године, са унапређивањем *Ethereum* платформе [377], бити потребно дорадити блокчејн систем. Систем је у раној фази развоја (енгл. *early access*) и биће унапређиван кроз пројекат отвореног кода [374] и предлог софтверске архитектуре, коначна верзија биће објављена на главној блокчејн мрежи (енгл. *mainnet*).

## 6. Евалуација платформе

Евалуација платформе укључује поређење имплементираних прототипа са системима *Vircadia* (верзија 2021.1.3) и *Sansar* (верзија R43.4.1). *Vircadia* [26] је грана (енгл. *fork*) из пројекта отвореног кода *High Fidelity* са *GitHub*-а [100]. Међутим, обе платформе имају сличне карактеристике, тако да смо изабрали једну за процену. У ранијим истраживањима, Зиза и други су користили *High Fidelity* за анализу учења кроз виртуелни свет [8]. *Vircadia* и *Sansar* су изабрани због имплементираних функција које су потребне за пружање образовног искуства и популарности међу корисницима виртуелних светова. *Sansar* због функција скриптовања (писања модова за платформу коришћењем одређеног програмског језика) и подршке за ВР корисничке интерфејсе. Такође, *Sansar* платформа користи фотореалистичне дигиталне аватаре [27]. Мотивација за изградњу нашег прототипа решења је увођење функција које нису имплементирани у две поменуте платформе и са циљем да се направи боље корисничко искуство са фокусом на учење унутар виртуелног света. Укључивање виртуелних агената и стварних корисника пружаће различита искуства заснована на теми дефинисане микролекције.

### 6.1 Метода евалуације технологије

Поређење је засновано на заједничким карактеристикама за сва три наведена решења. За поређење виртуелних окружења, успостављамо групу критеријума засновану на Манијевој матрици. У свом раду, Маниен [24] је користио елементе интеракције између корисника и окружења која се може користити у видео играма за више играча. Такође, Реис и други су користили Манијену матрицу да упореде виртуелне светове као што су *Second Life*, *There*, и *Active Worlds* у сврхе учења на даљину [356]. Такође, Лапин и други су упоредили *Multiverse OpenSim* и *Metaplace* окружења за подршку у учењу у *VirtualLife*-у [357]. Они су упоредили следеће карактеристике: комплексност инсталације, генерисање садржаја и увоз података из спољних алата. Критеријуми истраживања Реиса и Лапина су били засновани на

старим (енгл. *legacy*) платформама, тако да смо за потребе нашег истраживања унапредили Манијенову матрицу додавањем нових критеријума за потребе процеса поређења. Критеријуми су засновани на потребама образовних институција и коришћења виртуелног окружења за образовање. Потребе су представљене кроз следеће захтеве:

- Имплементирати систем приступа за ауторизацију корисника и аутентификацију (сигурност).
- Омогућите алате за креирање виртуелне учионице без коришћена вештина програмирања (дизајн окружења).
- Имплементирати виртуелне учионице за учење и сарадњу на даљину (приступачност).
- Омогућите алате за прављење сесија за унапред дефинисане курсеве (генерисање садржаја).
- Дизајнирајте имерзивно окружење које се може користити преко различитих корисничких интерфејса (комуникација помоћу десктоп рачунара са равним екраном или VR уређаја).

За потребе поређења виртуелног окружења је коришћен десктоп персонални рачунар са оперативним системом Windows 10, процесором Intel Core i5-8400 2.8 GHz, 8GB 2400MHz DDR4 RAM и NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB DDR5 графичком картицом. Резултати се постижу тестирањем карактеристика платформе; све карактеристике су одабране на основу ранијих истраживања виртуелних окружења [356], [357]. На основу Манијеновог процеса поређења матрице [24], користимо тежину као параметар за процену карактеристика. Тежина је рангирана од 0 до 24 (није применљиво, најнижи резултат), од 25 до 49 (мало применљиво), од 50 до 75 (довољно применљиво), од 76 до 94 (применљиво) и од 95 до 100 (идеално решење). Такође, треба да израчунамо проценат усклађености за сваки фактор. Ове вредности су генерисане на основу оквира квантитативне евалуације (QEF оквир) који је предложио Екудерио [358].

QEF оквир мери квалитет у односу на вредност (100%), а једначина је:

$$1/\sum_m PR_m \times \sum_n (PR_m \times PC_m) * 100 = Factor_n (\%) \quad (1)$$

У *QEF* једначини параметар *m* је број релевантних критеријума за фактор у анализи, параметар *PRm* је тежина критеријума *m* (10), а параметар  $PC_m$  је проценат усклађености са критеријумима. За боље разумевање једначине, дајемо пример у наставку:

$$\text{Дизајн виртуелног света (Vircadia)} = 1/40 * (10*0,7 + 10*0,5 + 10*0,85 + 10*0,5) * 100 = 63,75\%$$

Матрица поређења је приказана у табели 1, а сумирани резултати за сваки фактор су приказани у табели 2.

Табела 6.1.1 Манијенова матрица поређења за релевантну вредност

Критеријуми		<b>Vircadia</b>	<b>Sansar</b>	<b>Прототип</b>
<b>Дизајн виртуелног света</b>	Интеракција на мрежи	70	90	75
	Вештачка интелигенција	50	50	80
	Постојање интерактивних објеката	85	85	80
	3Д модели и окружења	50	95	80
<b>Комуникација</b>	Аудио	80	40	75
	Невербално	70	70	60
	Текст	10	80	70
<b>Контрола аватара</b>	Кретање	90	90	90
	Мировање	90	50	80
	Летење	90	0	50
<b>Дизајн аватара</b>	Комплексност	60	90	80
	Конфигурабилност	30	80	70



	Додавање прилагођених модела	90	60	80
	Више сервера	90	75	80
<b>Прилагодљиво окружење</b>	Границе унутар виртуелног простора	70	80	70
	Право на дигитални садржај	65	50	70
<b>Безбедност</b>	Трансакција података	80	70	50
	Управљање идентитетом	50	50	90
	Екстерни алати	90	65	60
<b>Генерисање садржаја</b>	Алати унутар виртуелног света	90	65	60
	Подршка за програмирање (.NET или Python скрипте)	90	70	10
<b>Развој подршка</b>	Пројекти отвореног кода	90	0	90

Табела 6.1.2 Сумирање свих фактора.

Фактори (%)	Vircadia	Sansar	Прототип
Дизајн виртуелног света	63.75	80	78.75
Комуникација	53.3	63.3	68.33
Контрола аватара	90	47	73.3
Дизајн аватара	60	77	76.6
Прилагодљиво окружење	80	77.5	75
Безбедност	65	56.6	<b>70</b>
Генерисање садржаја	90	65	60
Развојна подршка	90	35	50
<b>Укупно</b>	<b>74</b>	62.67	69

Поређење је урађено на основу субјективне процене и коришћењем фактора који се користе код дизајна озбиљних игара за више корисника [291, 297]. Дизајн виртуелног света се односи на технике игре и шта све корисник може да уради унутар окружења. Комуникација је начин на који корисници могу да остваре интеракцију једни са другима. Контрола и дизајн аватара се односи на могућности које сам аватар, тј. репрезентација корисника унутар виртуелног света може да уради. Прилагодљивост је могућност да се корисницима омогући одговарајући простор за сарадњу унутар виртуелног окружења. Безбедност се односи на контролу приступа. Генерисање садржаја је могућност надоградње и конфигурације самог виртуелног окружења. Развојна подршка је приступачност решења за додавање нових функција од стране програмера. Оцене су формиране на основу наведених фактора и претходних анализа [356]. Треба нагласити да тренутно не постоји идеално решење и да све платформе имају могућност за дораду. Сличан приступ су користили Реис и Лапин у својим анализама виртуелних светова [356], [357].

*Vircadia* и *Sansar* пружају напредне функције укључујући интеракцију са више корисника и скалабилност, самим тим ове функције смањују потребу за комуникацијом лицем у лице. Такође, обе платформе нуде корисне функције које можемо користити за развој виртуелног окружења. *Sansar* користи боље осветљење и рендеровање са фотореалистичном графиком у поређењу са *Vircadia* платформом. Међутим, *Vircadia* има бољи гласовни систем. Обе платформе омогућавају корисницима да читају прилагођену (енгл. *custom*) верзију дигиталног аватара. *Vircadia* решење је фокусирано на интеракцију са више корисника користећи веб клијента. *Sansar* је затвореног кода, док је *Vircadia* отвореног кода. *Vircadia* пројекти отвореног кода су развијени у *C/C++*, *JavaScript*, *Ruby*, *Python*, и *Go* програмским језицима. На *Sansar* серверима можемо да објављујемо прилагођене виртуелне светове. *Vircadia* има флексибилност за програмирање нових функција као што су нове анимације или гласовне контроле. *Sansar* користи централизован систем за трговину виртуелним садржајем. *Vircadia* и *Sansar* пружају основну за изградњу ВР окружења и интеракцију са објектима. На обе платформе, корисници могу да увезу 3Д садржај креиран у *Blender*, *Maya* или *Paint 3D* алатима.

*Vircadia* и *Sansar* се не фокусирају на одређену групу корисника, док прототип циља на кориснике који се интересују за учење на даљину. Што се тиче безбедности и приступа, *Vircadia* и *Sansar* користе провере које укључују корисничко име и лозинку за пријављивање на платформу. Прототип пружа побољшане мере безбедности где је омогућено домаћину сесије да додељује привилегије осталим корисницима док остале платформе свим корисницима дају једнака права. Подршка за скриптовање је стандардна функција за *Vircadia*-у и *Sansar* са идејом да се аутоматизују задаци у виртуелном окружењу. Подршка за скриптовање укључује програмирање вишег нивоа где написану скрипту можемо прикачити на 3Д објекат унутар виртуелног окружења или помоћу скрипте да модификујемо подразумевано виртуелно окружење. Прототип преко графичког корисничког интерфејса омогућава креирање микролекција унутар виртуелног окружења. Све платформе не захтевају ВР уређаје за интеракцију унутар виртуелног окружења. *Vircadia* је добила највишу оцену пре свега због своје отворености за додавање садржаја од стране корисника. *Vircadia* је намењена за

креирање садржаја и као *Sansar* представља генерални виртуелни свет. *Sansar* се истакао кроз графички приказ и изглед аватара. Прототип је прављен са циљем да задовољи потребе учења на даљину тако да се овде истакао дизајн виртуелног света и контрола приступа који су описани раније у дисертацији. Развијени прототип има могућност да се унапреди у генералну платформу за виртуелне светове и тиме би могао да постане конкурент платформи као што је *Vircadia* и пружи подршку за кориснике са различитим потребама. У наставку биће приказана анализа корисничког искуства унутар виртуелног света помоћу имплементираних прототипа.

## 6.2 Анализа корисничког искуства

Помоћу UTAUT2 (енгл. *Unified theory of acceptance and use of technology*) и *lean startup* модела урадићемо анализу прихватања и употребе технологије и испитати ефекте очекиваног учинка и напора, друштвеног утицаја, олакшавајућих околности, вредностима и навикама корисника, као и хедонистичке мотивације за потребе коришћења колаборативни виртуелних светова у образовању. Модел UTAUT2 се показао као веома успешан модел за предвиђање намера професора да користе хибридне приступе учењу у високом образовању [359]. Такође, наведени модел се може користити за описивање и процену понашања потрошача у погледу прихватања технологије иновативних производа у информационим технологијама [360].

Очекивани учинак се описује као веровање особе да ће јој систем који користи помоћи у постизању својих циљева [361]. Перформансе се односе на степен до којег ће употреба технологије бити корисна потрошачима приликом обављања одређене активности. Мера у којој имплементација услуга учења на даљину може помоћи ученицима назива се очекивање учинка [362]. Очекивање ученика о побољшању академског постигнућа представљено је њиховим ставом да им учење на даљину може помоћи [363]. Очекивани учинак може промовисати спремност корисника виртуелних светова да користе ову технологију у образовне сврхе. Коришћење иновативних система у области учења на даљину побољшава

учинак, ефикасност и квалитет услуга, што повећава намеру учесника да користе систем [364]. Стога се може претпоставити да:

- Очекиване перформансе позитивно утичу на намеру студената да уче коришћењем технологија виртуелних светова.
- Коришћење технологија виртуелних светова од стране студената за учење има повољан утицај на очекивани учинак.
- Очекивани учинак има позитиван утицај на ставове студената према коришћењу технологије виртуелних светова за учење.

### 6.2.1 Очекиван напор

Очекивани напор је лакоћа коришћења система. Очекивани напор мери колико је пријатно и једноставно за ученике да користе информационе и комуникационе технологије [365]. Лакоћа са којом ученици могу да прихвате услуге учења на даљину названа је очекиваним напором. Очекивани напор је кључна компонента у намери корисника да искористе технологију због неопходних специјализованих знања и способности [366].

Друштвени захтеви ученика доприносе очекивању напора, стога се може претпоставити да:

- Очекивани напор има позитиван утицај на коришћење технологија виртуелних светова од стране студената.
- Очекивани напор има позитиван утицај на употребно понашање студената који уче користећи технологије виртуелних светова.
- Очекивани напор има позитиван утицај на став студената да уче користећи технологију виртуелних светова.

### 6.2.2 Друштвени утицај

Друштвени утицај се односи на степен до којег особа осећа да је нови систем прихваћен од стране других корисника [361]. Степен до којег ученици треба да користе услуге учења на даљину које су им битне, као што су наставници, чланови породице и пријатељи, дефинисан је као друштвени утицај [362]. У почетној фази усвајања, друштвени утицај ће промовисати спремност крајњих корисника у земљама у развоју да усвоје виртуелне светове. Стога се може претпоставити да:

- Друштвени утицај има позитиван утицај на намере студената да користе технологију виртуелних светова за учење.
- Друштвени утицај има позитиван утицај на употребно понашање студената који уче користећи технологије виртуелних светова.
- Друштвени утицај има позитиван утицај на став студената да уче користећи технологије виртуелних светова.

### 6.2.3 Олакшавајући услови

Олакшавајући услови се дефинишу као степен до којег појединац верује да постојећа организациона и техничка инфраструктура подржава систем који олакшава његову употребу [361]. Олакшавајући услови се дефинишу као став ученика према ресурсима и подршци који су им доступни да усвоје нове услуге [362]. Стога се може претпоставити да:

- Олакшавајући услови могу имати позитиван утицај на намеру понашања студената да користе технологије виртуелних светова за учење.
- Олакшавајући услови имају позитиван ефекат на понашање ученика у учењу коришћењем технологије виртуелних светова за учење.
- Олакшавајући услови имају позитиван ефекат на став студената да уче користећи технологије виртуелних светова за учење.

#### 6.2.4 Хедонистичка мотивација

Хедонистичка мотивација се односи на задовољство и пријатне емоције које произилазе из употребе технологије [367]. Већа је вероватноћа да ће људи имати пријатно искуство у интеракцији са апликацијом виртуелних светова него са видео позивом. На пример, хедонистичка мотивација има позитиван ефекат на намере ученика да користе виртуелне светове. Сврха хедонистичке мотивације је да пружи учесницима мотивацију и задовољство које учесници доживљавају када користе систем. Стога се може претпоставити да:

- Хедонистичка мотивација има позитиван ефекат на намеру понашања студената да уче користећи технологије виртуелних светова.
- Хедонистичка мотивација има позитиван ефекат на понашање студената који користе технологије виртуелних светова за учење.
- Хедонистичка мотивација има позитиван ефекат на став студената да уче користећи технологије виртуелних светова.

#### 6.2.5 Навике

Навике се дефинишу као степен до којег људи активно и аутоматски изводе понашања као резултат учења и имају тенденцију да процес аутоматизују [368]. Навике су одређене нивоом интеракције и познавањем циљне технологије, и могу се развити у различитом степену током времена. Навике имају значајно позитиван утицај на корисност и лакоћу коришћења апликација. У високом образовању, навика је најважнији фактор који утиче на спремност студената да користе учење на даљину и главни разлог зашто људи користе онлајн игре [369]. Стога се може претпоставити да:

- Навике имају позитиван ефекат на намеру понашања студената да користе технологије виртуелних светова за учење.
- Навике имају позитиван ефекат на понашање студената који користе технологије виртуелних светова за учење.

- Навике имају позитиван ефекат на ставове студената према коришћењу технологије виртуелних светова за учење.

#### 6.2.6 Намера

Намера се односи на ефекат усвајања технологије од стране учесника. Људи се ослањају на сопствене перцепције корисности и лакоће употребе да би обликовали своје намере, што може предвидети њихово будуће усвајање технологије. Позитиван став ученика у коришћењу система повећаће њихову намеру да користе решење док су друштвени утицај и навика најкритичнији фактор који утиче на намере ученика да користе учење на даљину [370]. Стога се може претпоставити да намера студената да уче користећи технологије виртуелних светова има позитиван утицај на њихово понашање у учењу.

#### 6.2.7 Став

Став је тема истраживања у психологији и сродним областима, а промена става утиче на нечије понашање [371]. Став је лично и субјективно искуство, субјективне норме према производу (БОУ прототипу) [372]. Стога се може претпоставити да:

- Ставови студената према учењу коришћењем технологија које имају благотворан утицај на њихову намеру да уче кроз технологије виртуелних светова.
- Став студената према учењу кроз технологију која има благотворан утицај на њихово учење кроз коришћење технологија виртуелних светова.

Анализом корисничког искуства можемо да закључимо да технологије виртуелних светова имају позитиван утицај на ефекте очекиваног учинка и напора,



друштвеног утицаја, олакшавајућих околности, вредностима и навикама корисника, као и хедонистичке мотивације.

### 6.3 Утицај платформе на кориснике

На основу елемената утицаја код анализе корисничког искуства дефинисана је анкета. Анкета на тему утицаја платформе је организован са групом корисника који су у раној фази развоја тестирали прототип решења. Идеја је да се кроз једноставну анкету потврде горе наведене хипотезе, које су добијене кроз анализу корисничког искуства. На основу Спенсовог истраживања [373], платформе виртуелног света се највише користе за креирање садржаја и социјализацију (више од 50%) и 10% за образовање. Такође, платформе су углавном дизајниране за млађу публику (10-15 година). *Second Life* је једна од најзрелијих платформи на којој су корисници између 30 и 40 година, и која циља ствараоце садржаја и озбиљних игара (енгл. *serious gaming*). Што се тиче сличних платформи за креаторе садржаја, корисници варирају између 20 и 40 година. Такође, новије платформе углавном имају нешто млађу публику. Прототип је дизајниран за креаторе садржаја и образовање и на основу Спенсовог истраживања [373] наша циљна публика је између 18 и 38 година (миленијалци и генерација З).

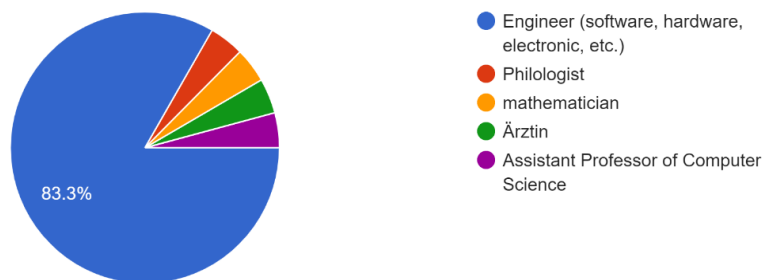
Прототип за *Windows* је демонстриран и тестиран углавном на корисницима (учесницима) који су похађали инжењерске области као студенти или асистенти у настави са искуством у гејмификацији и учењу на даљину. У анкети смо укључили 24 корисника од којих је 70% имало искуство са виртуелним световима или видео играма за више играча. Више од 80% учесника има инжењерско образовање и ради у индустрији или сектору образовања. Прототип је демонстриран кроз микролекције о виртуелним световима. Пре него што су корисници приступили окружењу, направили су налог за пријаву и изабрали дигиталне аватаре који ће их представљати у окружењу. Користећи систем клијент-сервер умрежавања, наставник је креирао сервер, а након тога су ученици приступили сесији као клијенти. Наставник који је био домаћин сесије имао је привилегију да им дозволи да манипулишу 3Д садржајима као што су презентациони панел и интерактивни

објекти, где су корисници могли да мењају слајдове презентације који су синхронизовани са сервером и осталим клијентима током сесије. Такође, корисници су могли да комуницирају преко система за ћаскање. Користећи мрежни систем, корисници су могли да се синхронизују и прате шта су остали учесници радили током сесије. Након тестирања прототипа, корисници су морали да одговоре на упитник. Упитник је базиран на UTAUT2 и *lean startup* моделу [287] и састоји се од питања везаних за коришћење прототипа и сличних решења, предностима и недостацима за учење и развоја вештина код инжењера. Питања упитника су осмишљена према теми овог рада и релевантној литератури [103] за процену корисничког искуства. Циљ анкете је да дођемо до следећих чињеница:

- Ефикасна комуникација: представите идеје на сигуран и професионалан начин.
- Компетентност у пракси, правилно коришћење инжењерских техника, као и релевантних алата и програма.
- Вештине интерперсоналног и тимског рада: способност да ефикасно функционишете као члан тима или вођа тима.
- Вештине решавања проблема: како идентификовати и приступити проблемима и дефинисати циљеве.

Што се тиче искуства учесника (слика 6.3.1), већина њих су били софтверски инжењери (15), инжењери телекомуникација (2), инжењери електронике (1) и доценти (3), док су остали математичари (1), доктори специјалисти (1), и филолози (1). Резултати приказани процентуалним графиконима су дати у наставку (слике 6.3.1 до 6.3.9).

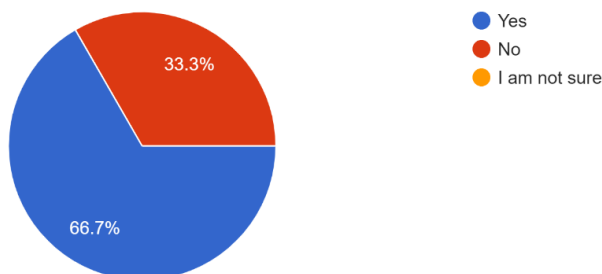
Please enter your profession  
24 responses



Сл. 6.3.1 Резултати теста из извештаја. Занимања учесника анкете.

Већина учесника има претходно искуство са окружењима за сарадњу. Многи кандидати сматрају да већина образовних игара нису добре дизајниране и да се те игре не могу мерити са комерцијалним играма у погледу графике, звука и играња. Након сесије, сви учесници су разумели како платформа функционише и како могу да остваре интеракцији са осталим корисницима (слика 6.3.2).

1. Have you ever had any experience with multiplayer video games or virtual worlds (Second Life, High Fidelity, Sansar, World of Warcraft, etc.)?  
24 responses



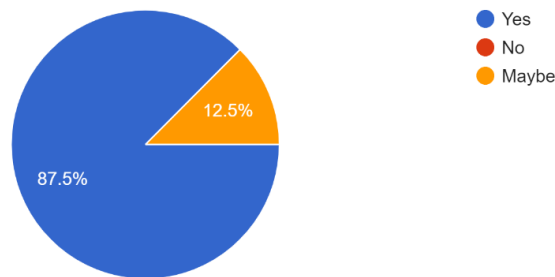
Сл. 6.3.2 Резултати теста из извештаја. Претходно искуство учесника.

Већина учесника је разумела употребу виртуелних светова у образовне сврхе. На основу претходног искуства током активног играња *World of Warcraft* (WoW), разумевање друштвених активности унутар виртуелног окружења даје идеју о томе како можемо променити контекст из чисте забаве у окружење за колаборативно учење (слика 6.3.3). Током тест сесије, сваки учесник је могао да подели случај употребе из стварног света:

- Заједнички рад и обука коришћењем 3Д окружења (путовања у свемир за астронауте, производња аутомобила, аутономна вожња, индустријска опрема, итд.).

- Демонстрација и симулација (приказивање структуре атома и молекула, токова струје, електромагнетних поља).
- Виртуелна хирургија и дисекција за подучавање студената медицине.
- Лекције из географије или посета удаљених локација помоћу аватара.
- Решавање проблема и интерактивни преглед софтверског кода.
- Конференције и састанци за дељење знања (организација вебинара у 3Д свету).

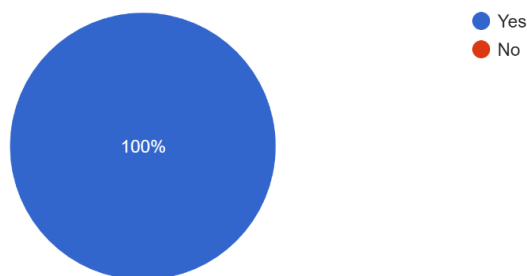
3. Could you imagine the usage of virtual worlds in education (for example engineering education)?  
24 responses



Сл. 6.3.3 Резултати теста из извештаја. Примена виртуелних светова у образовању.

Након упознавања са виртуелним окружењем, учесници су разумели циљ демонстрације (слика 6.3.4). Следећи корак је интеракција унутар платформе коришћењем дигиталних аватара и 3Д садржаја.

a. Have you understood the usage of the VoRtex platform based on the demonstration?  
24 responses

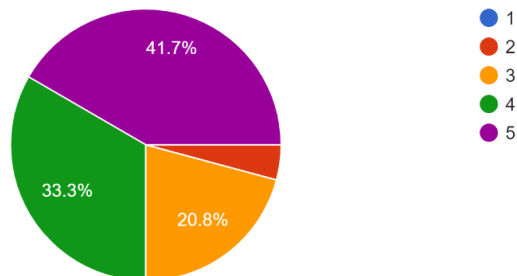


Сл. 6.3.4 Резултати теста из извештаја. Разумевање платформе.

Након интеракције унутар платформе користећи дигиталне аватаре и 3Д садржај, учесници су проценили укупно искуство на скали од 1 до 5, при чему је 1 најнижа оцена (низак квалитет) и 5 највиши (висок квалитет). На основу резултата,

41,7% проценило да је решење високог квалитета, док је више од 90% дало оцену 3 или више (слика 6.3.5).

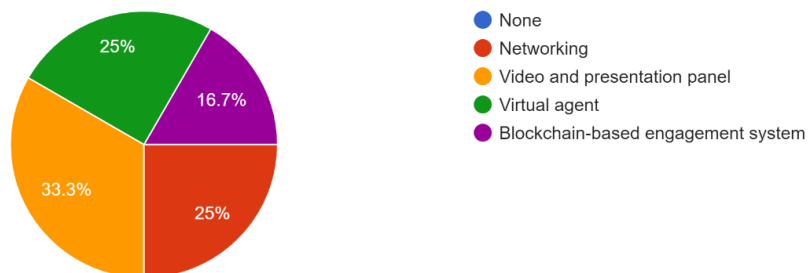
b. How interesting is the VoRtex Platform (rate experience from 1 to 5)?  
24 responses



Сл. 6.3.5 Резултати теста из извештаја. Корисничко искуство засновано на студији случаја.

Учесници су похвалили умрежавање и презентациони панел који су додати унутар платформе (слика 6.3.6). Користећи систем умрежавања, могли су да контактирају наставника или друге ученике без ометања сесије. Обе функције су развијене у образовне сврхе како би се поједноставила комуникација између ученика и наставника, или између више ученика.

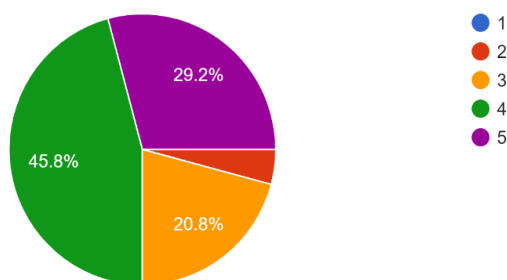
c. Which of the VoRtex features you like the most?  
24 responses



Сл. 6.3.6 Резултати теста из извештаја. Метрика о функцијама унутар решења.

Учесницима се највише допала комуникација унутар платформе користећи интерно ћаскање. Високе оцене је дало 45,8% учесника (слика 6.3.7). Функција ћаскања пружа карактеристике сличне популарним решењима као што су *Skype* и *Teams*. Свеукупно искуство пружило је имерзивнији осећај у поређењу са популарним решењима.

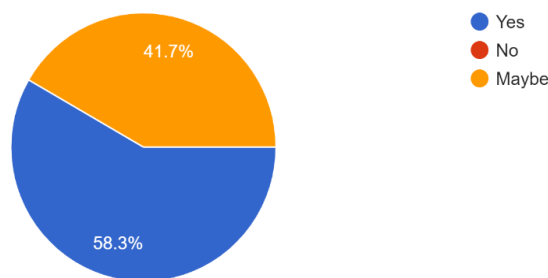
d. How can you evaluate interactions between users on the platform (rate experience from 1 to 5)?  
24 responses



Сл. 6.3.7 Резултати теста из извештаја. Искуство интеракције унутар виртуелног окружења.

Што се тиче микролекције, учесници су могли да комуницирају путем порука и остваре интеракцију са објектима унутар виртуелног окружења. Користећи наведене функције можемо да уведемо гејмификоване изазове у вези са решавањем загонетки користећи закон физике или истраживачке активности у виртуелном свету (потрага за благом, соба за бекство, анализа локације) [24]. Учесници су препоручили тестирање концепта микролекције са ученицима у другим секторима као што су основно и средње образовање. Карактеристике микролекције и дизајн за решавање проблема били су задовољавајући за већину учесника (слика 6.3.8).

e. Can you imagine the VoRtex platform as a tool for problem-solving?  
24 responses

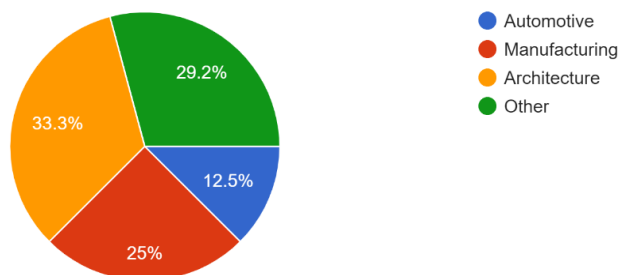


Сл. 6.3.8 Резултати теста из извештаја. Алат за решавање проблема.

Што се тиче проширене употребе платформе, већина види потенцијал у 3Д изградњи виртуелних светова тј. архитектури (слика 6.3.9). Идеја за заштиту података помоћу блокчејна може да пружи већу сигурност корисницима платформе [28]. Ово ће мотивисати многе ствараоце садржаја да се укључе у развој додавањем модела из стварног света (дигитални двојник).

g. Where do you want to see the next usage of the VoRtex platform?

24 responses



Сл. 6.3.9 Резултати теста из извештаја. Следећа примена решења.

Након анкете, интервјуисали смо учеснике о њиховом свеукупном искуству са платформом у поређењу са доступним наставним методама. Можемо дати следеће закључке учесника у вези са предностима и недостацима решења као што су виртуелни светови:

- Виртуелни свет може утицати на то како ефикасније учити географију. Није исто када видимо фотографију или видео неког места, много је интересантније учити географију у виртуелном свету помоћу дигиталних аватара. У виртуелним световима учење ће постати лакше и занимљивије јер се осећамо као да смо у видео игри. Ово је велика предност виртуелних светова у поређењу са учионицом у стварном свету.
- Наставници су приметили предност коришћења платформе за демонстративне вежбе преко виртуелног света у поређењу са учионицама у стварном свету. Током сесија у учионици, ове лекције немају широку примену у пракси осим писања софтверског кода, додавање елемента визуелног програмирања може да поједностави многе алгоритме за решавање проблема.
- Аспекти образовања и решавања проблема помоћу 3Д аватара могу бити добар начин за персонализацију искуства и привлачење корисника да подрже платформу. Међутим, праћење активности ученика је тешко јер је фокус на виртуелном окружењу. Ипак, сесије у учионици (стварном свету) су поузданије за праћење активности ученика.

- Виши ниво ангажмана са образовним материјалом.
- Предности интерактивног учења.
- Сличности са конструктивистичким наставним методама.
- Уштеде трошкова смањењем времена за обуку вештина и јефтиније од обављања исте обуке у стварном окружењу.

Учесници сматрају да је укључивање блокчејна иновативан концепт чиме се проширују случајеви коришћења ове технологије у доменима образовања. У поређењу са истраживањем Нунеса и других [21], наше истраживање обухвата 24 корисника, док Нунесово истраживање укључује 13 корисника. Нунесово истраживање је фокусирано на одређену тему (курс о алгоритмима), док микролекције могу да обухвате више случајева коришћења.



## 7. Закључак

Виртуелни светови постају свеприсутни у модерној заједници и представљају спој модерних медијума. Виртуелна окружења за учење (ВОУ) налазе примену у различитим доменима индустрије коришћењем виртуелне реалности и концепта метаверзума. Пример су ВОУ решења која се користе у образовању, као и за организацију састанака и виртуелних конференција. Унутар докторске дисертације је описан предлог архитектуре и имплементација ВОУ са уграђеним елементима гејмификације и блокчејна. Поред предлога архитектуре и имплементације ВОУ решења, уређена је анализа других доступних ВКО решења и корисничког искуства у домену образовања где се захтева од учесника да кроз практичан рад обаве одређени задатак. Предложено ВОУ решење је отвореног кода и истраживачког типа, служи као алат за учење налик *Sloodle* алату, није комерцијалног типа и захтева од корисника разумевање саме архитектуре решења како би аутоматизовао или додао жељене интеракције. Виртуелни светови и блокчејн су технологије у развоју, фокусиране на мање групе одабраних корисника. Имплементирано решење за потребе дисертације је корак ка демократизацији развоја колаборативних виртуелних светова и њихове примене у образовању. Резиме истраживања, резултати, доприноси и даљи кораци су приказани у наставку.

### 7.1 Резиме истраживања

Истраживање је подељено на аналитички, практични и еволуциони део. Прво је истражена примена и карактеристике постојећих ВКО решења, анализирани су радови из области ВКО система. Затим је описана примена ВКО решења унутар различитих домена као што су помоћ људима са аутизмом, видео игре и друштвене мреже. Након тога је предложена архитектура ВКО решења за учење на даљину. Предложена архитектура софтвера укључује аутентификацију корисника у виртуелном окружењу, подршку за виртуелне двојнике, систем за праћење лекција и мрежни систем за комуникацију између корисника. Предложена архитектура је имплементирана кроз интерно развијен ВОУ прототип. ВОУ

прототип омогућава праћење наставе унутар виртуелне учионице помоћу гејмификације и блокчејна. Елементи гејмификације су достигнућа и напредак корисника, док су елементи блокчејна новчаник за чување токена и мотивацију корисника. За потребе поређења развијеног ВОУ решења са сличним јавно доступним решењима коришћена је Маниен матрица [24]. Такође, приказана је анализа корисничког искуства интерно развијеног ВОУ решења са корисницима из сфере образовања. Након тестирања, на основу резултата корисничког искуства, урађена је евалуација развијеног ВОУ решења. Анализом корисничког искуства можемо да закључимо да је ВОУ платформа имала позитиван утицај на кориснике.

## 7.2 Резултати истраживања и допринос дисертације

Резултати приказани у овој дисертацији дају увид у могућности за развој виртуелних окружења за учење на даљину коришћењем гејмификације и блокчејн технологија. Када је реч о недостацима примене виртуелних окружења у образовању, један од главних недостатака јесте неопходан приступ рачунару и Интернету, као и проблем узрокован недовољним познавањем технологија за приступ виртуелним окружењима. Студенти могу сматрати да услед недовољног познавања технологије неће моћи да остваре добре резултате и зато ће можда настојати да избегну коришћење таквих технологија и алата. Такође, један од недостатака јесте губитак људског контакта, говора тела (невербалне комуникације) и појава неразумевања. Иако ће студенти комуницирати посредством аватара, не може се очекивати да ће се аватари понашати као корисници у стварном свету и да ће правити исте гестове. Највећи недостатак јесте изолација од реалног света, где се корисник виртуелног окружења ослања више на интеракције које се одвијају у виртуелном свету него на искуства у стварном свету. Када је реч о предностима примене виртуелних окружења у образовању, највеће предности су неограничени простор за рад или учење на даљину унутар 3Д простора. Многе образовне установе не могу свим ученицима да пруже рад унутар саме установе и углавном изнајмљују простор или одржавају лекције преко Интернета. Одржавање лекција преко Интернета коришћењем 3Д простора има

знатно виши ниво имерзије у односу на традиционалне 2Д апликације за ћаскање као што су *Skype* и *Teams*. Поред тога, унутар 3Д простора могу да се генеришу различите локације (градови или лабораторије) тако да нема потребе за путовањима и додатним трошковима.

Најважнији доприноси дисертације сумирани су у наставку поглавља:

- Преглед и анализа технологија за развој виртуелних колаборативних окружења: Написан је преглед научних радова, технологија и решења за развој виртуелних колаборативних окружења из области забаве и образовања у другом и трећем поглављу дисертације.
- Предлог спецификације и архитектуре виртуелног колаборативног окружења за подршку учењу заснованог на гејмификацији и блокчејн технологијама: У четвртом поглављу рада описан је развој иновација и елемената виртуелних светова. У петом поглављу је описана *VoRtex* софтверска архитектура за потребе развоја колаборативних виртуелних окружења за сарадњу. Архитектура описује како функционише сарадња између више корисника и укључивање ресурса за учење.
- Имплементација прототипа виртуелног колаборативног окружења за сарадњу више корисника унутар заједничког простора: Прототип је описан у петом поглављу рада. Решење омогућава умрежавање између више корисника током сесије, избор и подешавање сесија и аватара, и преглед активности. Наставник је домаћин сесије док су учесници гости унутар виртуелног света који је наставник направио.
- Предлог и имплементација ресурса за учење унутар виртуелног окружења: Систем за имплементацију ресурса за учење описан је у петом поглављу рада. Ресурси се могу додавати коришћењем компоненти за прављење микролекција која омогућава избор области образовања, виртуелног окружења, презентационог панела и интерактивних објеката. Микролекције се праве помоћу веб платформе.

- Предлог система регулације ресурса између корисника виртуелног окружења коришћењем блокчејн технологија: Регулацију ресурса између корисника је могуће остварити коришћењем NFT токена који гарантују да сваки дигитални објекат који прави едукативна установа има једног власника или ученика који је обавио успешно задатке. Имплементација је могућа помоћу ERC-1155 стандарда и *Open Zeppelin* [354]. Детаљи су описани у петом поглављу рада, у делу Блокчејн компонента.
- Предлог система за награђивање корисника унутар виртуелног окружења помоћу гејмификације и блокчејн технологија: Система за награђивање корисника користи VRC криптовалуту [344] која је заснована на ERC-20 стандарду. Корисник за сваку успешно обављену акцију добија ETH или VRC токен који блокчејн компонента додаје у корисников новчаник. Детаљи су описани у петом поглављу рада, у делу Блокчејн компонента.
- Предлог система заштите идентитета корисника унутар виртуелног окружења: Имплементирана компонента контроле приступа користи вишефакторску верификацију идентитета. Контрола приступа омогућава аутентификацију и ауторизацију тако да током сесије наставник може да додељује привилегије осталим учесницима унутар виртуелног окружења. Детаљи су описани у петом поглављу рада, у делу Контрола приступа.
- Предлог метода за развој 3Д симулација за подршку држању наставе унутар виртуелног колаборативног окружења коришћењем гејмификације и технологија виртуелне реалности: Праћење активности корисника као и развој самих окружења је могућ помоћу веб платформе која је уско повезана са развојем виртуелних окружења. Представља спој социјалне мреже, алата за развој окружења, избор лекција и праћење остварених достигнућа унутар платформе. Детаљи су описани у петом поглављу рада, у делу Веб платформа.

- Упоредна анализа ефикасности, заснована на експерименталном раду са виртуелним колаборативним окружењима, коришћењем захтева за учење на даљину и Маниен матрице за поређење карактеристика решења: Маниен матрица је коришћена за поређење имплементираног прототипа са платформама *Vircadia* (верзија 2021.1.3) и *Sansar* (верзија R43.4.1). На основу анализе прототип се показао као алат који је фокусиран на одређену групу корисника (наставници и ученици), док су остале две платформе генералног типа. Прототип се показао као боље решење што се тиче саме безбедности. Детаљи су описани у шестом поглављу рада.
- Преглед и евалуација корисничког искуства унутар анализираних виртуелних колаборативних окружења: Помоћу UTAUT2 и *lean startup* модела спроведена је анализа прихватања и употребе технологије колаборативних виртуелних светова у образовању. Евалуација корисничког искуства је урађена анкетирањем корисника, које је потврдило да је имплементирани прототип добра основа за помоћ у настави. Детаљи су описани у шестом поглављу рада.
- Прототип софтверске платформе за развој образовних виртуелних окружења: Прототип је имплементиран на основу предложене архитектуре и састоји се из следећих компонената: веб платформе, контроле приступа, микролекација и блокчејн компоненте за потребе мотивације корисника. Прототип је доступан као пројекат отвореног кода [374].

### 7.3 Правци даљег истраживања

Виртуелна колаборативна окружења постају све популарнија са развојем рачунарске графике и хардвера. Многе корпорације (*Sony* и *Meta*) сматрају да ће метаверзум концепт помоћи њиховим организацијама да напредују у будућности кроз трансформисање начина рада. Главна предвиђања за наредни период се односе на следеће трендове:

- Виртуелни светови ће се све више користити за рад, игру, дружење и учење.
- Потражња за дигиталним искуствима сличним виртуелним световима ће расти.
- Рачунари и уређаји виртуелне реалности биће приступачнији већем броју људи.

Иако су видео игре донекле напредовале до учионица, евентуална неизбежност видео игара у учионици зависиће од наставника и школских администратора. Међутим, доказ да учење кроз игру и блокчејн технологије заправо могу да унапреде тренутни метод учења су кључ да виртуелне учиниоце буду опште прихваћене.

Будућа истраживања биће фокусирана на усавршавању платформе за развој виртуелних светова, додавањем нових компоненти и унапређивањем постојећих на основу повратних информација од стране корисника. *Unity* алат се показао као добро решење за развој прототипа (*open-source* решење [374]). Поред тога, *Unity* ради на новим метаверзум алатима као што су 3Д аватари [382], блокчејн и *Unity XR* додаци, и систему за умрежавање тако да у будућим верзијама можемо очекивати и бољу подршку. Следећи кораци су пуна имплементација описане софтверске архитектуре, фокус ће бити на вештачкој интелигенцији, интеграцији блокчејн решења и подршци за модерне VR платформе. *ChatGPT* [376] технологија може да пружи напредне опције које се тичу преноса информација коришћењем говора у текст и обрнуто. *ChatGPT* технологију можемо да интегришемо са интелигентним агентима. Решење може да служи и као помоћни алат наставницима тако што може да даје одговоре на питања из различитих области образовања. Што се тиче блокчејна и Веб 3.0 концепта, унутар прототипа је имплементирана тест мрежа на ниском нивоу. Софтверски пакети као што су *Moralis* [379] и *Ankr* [380] омогућавају рад са Веб 3.0 компонентама коришћењем већ имплементираних интерфејса за развој који прате метаверзум концепт (енгл. *off-the-shelf*) чиме ће бити олакшано ажурирање блокчејн компоненте. Што се тиче фотограметрије, постоје NeRF неуронске мреже које могу на основу слика да направе 3Д моделе и окружења ефикасније и бољег квалитета у односу на традиционалне технике из

фотограмetriје [381]. Преласком на наведене технологије наредна истраживања биће могућа и на већој групи корисника из различитих сектора образовања и индустрије. Следеће групе корисника могу бити ученици средњих и основних школа којима је концепт гејмификације познат кроз играње видео игара или социјалних VR апликација. Такође, постоји могућност за експериментисањем и са другим случајевима коришћења кроз развој микролекција из области образовања, индустрије и забаве. *Google Cardboard* верзија прототипа биће пребачена на *Meta Quest* јер ове VR наочаре имају бољу подршку за развој метаверзум апликација. Такође, примена уређаја проширене реалности и анализа апликација као што је *Microsoft Mesh* [343] или *ScioXR* [383] може бити један од праваца даљег развоја корисничког искуства и кроз комбинацију елемената из стварног света. Затим интеграција праћења целог тела корисника унутар виртуелног простора [384].

Примена виртуелних светова ван индустрије видео игара постаје све популарнија, образовање је један од сектора који ову технологију може да прихвати и тиме унапреди постојеће процесе. Иако, метаверзум или Веб 3.0 представљају рану фазу имерзивног Интернета, напредак зависи и од тога које ће тренутно водеће технологије за развој метаверзума опстати на тржишту, колико ће се дуго виртуелна реалности у облику VR наочара или десктоп окружења са равним екраном (рачунарски монитори) бити примењивана од стране корисника. Предложена софтверска архитектура и пројекат отвореног кода су направљени за потребе дисертације и са циљем да појединцима и развојним тимовима омогући развој иновативних метаверзум решења у различитим доменима индустрије. Развој виртуелних светова коришћењем гејмификације и блокчејна коришћењем предложене архитектуре олакшаће истраживање и развој у наведеним областима и приближити ове технологије будућим генерацијама. Такође, кроз примену концепта отворене иновације пројекат ће уз укључивање појединаца и развојних тимова бити прилагођаван будућим трендовима и тиме доприносити друштвеној заједници, сарадњи науке и привреде, као и напретку у индустрији.

## Литература

- [1] B. Attallah, „Post COVID-19 higher education empowered by virtual worlds and applications“, 2020. doi: 10.1109/IT51279.2020.9320772.
- [2] C. Girvan, „What is a virtual world? Definition and classification“, *Educational Technology Research and Development*, том 66, изд. 5, 2018, doi: 10.1007/s11423-018-9577-y.
- [3] C. Schott и S. Marshall, „Full-immersion virtual reality for experiential education: An exploratory user experience analysis“, *Australasian Journal of Educational Technology*, том 37, изд. 1, 2021, doi: 10.14742/ajet.5166.
- [4] O. Grau, „Virtual Art: From Illusion to Immersion (Leonardo Books)“, стр. 430, 2004, Приступљено: Сеп. 27, 2022. [На Интернету]. Available: <http://www.amazon.ca/exec/obidos/redirect?tag=citeulike09-20&path=ASIN/0262072416>
- [5] I. Granic, A. Lobel, и R. C. M. E. Engels, „The benefits of playing video games“, *American Psychologist*, том 69, изд. 1, 2014, doi: 10.1037/a0034857.
- [6] A. B. Craig, W. R. Sherman, и J. D. Will, „Developing virtual reality applications : foundations of effective design“, стр. 382, 2009.
- [7] Jovanović A и Milosavljević A, „Review of Modern Virtual Reality HMD Devices and Development Tools“, Јуни 2017.
- [8] C. Zizza, A. Starr, D. Hudson, S. S. Nuguri, P. Calyam, и Z. He, „Towards a social virtual reality learning environment in high fidelity“, у *CCNC 2018 - 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference*, 2018, том 2018-January. doi: 10.1109/CCNC.2018.8319187.
- [9] S. Chowdhury и M. A. Schnabel, „Virtual environments as medium for laypeople to communicate and collaborate in urban design“, *Archit Sci Rev*, том 63, изд. 5, 2020, doi: 10.1080/00038628.2020.1806031.
- [10] A. Jovanović и A. Milosavljević, „VoRtex Metaverse Platform for Gamified Collaborative Learning“, *Electronics (Switzerland)*, том 11, изд. 3, 2022, doi: 10.3390/electronics11030317.
- [11] M. Sailer и L. Homner, „The Gamification of Learning: a Meta-analysis“, *Educ Psychol Rev*, том 32, изд. 1, 2020, doi: 10.1007/s10648-019-09498-w.
- [12] M. Singh, E. Fuenmayor, E. P. Hinchy, Y. Qiao, N. Murray, и D. Devine, „Digital twin: Origin to future“, *Applied System Innovation*, том 4, изд. 2, 2021. doi: 10.3390/asi4020036.



- [13] D. Tapscott и A. Tapscott, „The Blockchain Revolution & Higher Education“, *Education Review*, том 52, изд. 2, 2017.
- [14] Antonio Ramón Bartolomé, Carles Bellver, Linda Castañeda, и Jordi Adell, „Blockchain in Education: Introduction and Critical Review of the State of the Art“, *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, изд. April 2018, 2017.
- [15] S. M. Park и Y. G. Kim, „A Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges“, *IEEE Access*, том 10, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3140175.
- [16] E. Christopoulou и S. Xinogalos, „Overview and Comparative Analysis of Game Engines for Desktop and Mobile Devices“, *International Journal of Serious Games*, том 4, изд. 4, 2017, doi: 10.17083/ijsg.v4i4.194.
- [17] A. G. de Oliveira Fassbinder, M. Fassbinder, E. F. Barbosa, и G. D. Magoulas, „Massive open online courses in software engineering education“, у *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 2017, том 2017-October. doi: 10.1109/FIE.2017.8190588.
- [18] F. J. García-Peñalvo, J. Cruz-Benito, O. Borrás-Gené, и Á. F. Blanco, „Evolution of the conversation and knowledge acquisition in social networks related to a MOOC course“, у *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2015, том 9192. doi: 10.1007/978-3-319-20609-7\_44.
- [19] J. Koivisto и J. Hamari, „The rise of motivational information systems: A review of gamification research“, *International Journal of Information Management*, том 45. 2019. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.013.
- [20] G. Quinones и M. Adams, „Children’s virtual worlds and friendships during the Covid-19 pandemic visual technologies as a panacea for social isolation“, *Video Journal of Education and Pedagogy*, том 5, изд. 1. 2021. doi: 10.1163/23644583-bja10015.
- [21] F. B. Nunes и остали, „A dynamic approach for teaching algorithms: Integrating immersive environments and virtual learning environments“, *Computer Applications in Engineering Education*, том 25, изд. 5, 2017, doi: 10.1002/cae.21833.
- [22] S. W. Greenwald, W. Corning, и P. Maes, „Multi-user framework for collaboration and co-creation in virtual reality“, у *Computer-Supported Collaborative Learning Conference, CSCL*, 2017, том 2.
- [23] J. P. Stichter, J. Laffey, K. Galyen, и M. Herzog, „iSocial: Delivering the Social Competence Intervention for Adolescents (SCI-A) in a 3D virtual learning environment for youth with high functioning autism“, *J Autism Dev Disord*, том 44, изд. 2, 2014, doi: 10.1007/s10803-013-1881-0.
- [24] T. Manninen, „Interaction in networked virtual environments as communicative action: Social theory and multi-player games“, 2000. doi: 10.1109/CRIWG.2000.885173.
- [25] „ISTE“. <https://www.iste.org/standards/iste-standards-for-students> (приступљено Сеп. 22, 2022).

- [26] „Vircadia | Open Source Metaverse Platform“. <https://vircadia.com/> (приступљено Сеп. 20, 2022).
- [27] „Sansar | Official Site - The world’s leading social virtual reality platform“. <https://www.sansar.com/> (приступљено Сеп. 20, 2022).
- [28] S. Rothe, A. Schmidt, M. Montagud, D. Buschek, и Н. Hußmann, „Social viewing in cinematic virtual reality: a design space for social movie applications“, *Virtual Real*, том 25, изд. 3, 2021, doi: 10.1007/s10055-020-00472-4.
- [29] A. Hamacher, „Stereoscopy in virtual reality“, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, том 69, изд. 6, 2021, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V69I6P219.
- [30] J. Lee, J. Kim, и J. Y. Choi, „The adoption of virtual reality devices: The technology acceptance model integrating enjoyment, social interaction, and strength of the social ties“, *Telematics and Informatics*, том 39, 2019, doi: 10.1016/j.tele.2018.12.006.
- [31] S. G. Weinbaum, „Pygmalion’s Spectacles“, *Project Gutenberg*, том 48, изд. 11. 1935.
- [32] J. Bardi, „What is Virtual Reality? [Definition and Examples]“, *Marxent 3D Commerce*, 2020.
- [33] Dom Barnard, „History of VR - Timeline of Events and Tech Development“, *Virtual Speech*, 2019.
- [34] „Sensorama - Wikipedia“. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [35] „The Sword of Damocles (virtual reality) - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Sword\\_of\\_Damocles\\_\(virtual\\_reality\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Sword_of_Damocles_(virtual_reality)) (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [36] Sega Retro, „Sega VR“, *Backwards Compatible*, 2012.
- [37] D. W. Massaro и остали, „iGlasses: An automatic wearable speech supplement in Face-to-Face communication and classroom situations“, 2008. doi: 10.1145/1452392.1452432.
- [38] B. Edwards, „Unraveling The Enigma Of Nintendo’s Virtual Boy, 20 Years Later“, *Fast Company*, 2015.
- [39] D. Crawford и T. Bounds, „Facebook to Acquire Oculus | Facebook Newsroom“, *Facebook News*, 2014.
- [40] A. Reality, „Types of Augmented Reality Types of Augmented Reality Systems“, 2017, Приступљено: Сеп. 27, 2022. [На Интернету]. Available: [http://download.springer.com/static/pdf/18/chp%253A10.1007%252F978-3-319-54502-8\\_2.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-54502-](http://download.springer.com/static/pdf/18/chp%253A10.1007%252F978-3-319-54502-8_2.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fchapter%2F10.1007%2F978-3-319-54502-)

8\_2&token2=exp=1497453581~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F18%2Fchp%25253A10.1007%25252F978-3-319-54

- [41] „Reality–virtuality continuum - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/Reality%E2%80%93virtuality\\_continuum](https://en.wikipedia.org/wiki/Reality%E2%80%93virtuality_continuum) (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [42] „The 3 Types of Virtual Reality - Heizenrader“. <https://heizenrader.com/the-3-types-of-virtual-reality/> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [43] J. W. Kelly, T. A. Doty, M. Ambourn, и L. A. Cherep, „Distance Perception in the Oculus Quest and Oculus Quest 2“, *Front Virtual Real*, том 3, 2022, doi: 10.3389/frvir.2022.850471.
- [44] A. South, „Playstation VR“, *International Business*, изд. 16, 2003.
- [45] „VIVE Pro | VIVE United States“. <https://www.vive.com/us/product/vive-pro/> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [46] „Valve Index“. <https://store.steampowered.com/valveindex> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [47] „Pico XR“. <https://www.picoxr.com> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [48] „Google Cardboard – Google VR“. <https://arvr.google.com/cardboard/> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [49] P. Smutny, „Learning with virtual reality: a market analysis of educational and training applications“, *Interactive Learning Environments*, 2022, doi: 10.1080/10494820.2022.2028856.
- [50] „Standalone VR vs. PC VR: Key Differences - Visartech Blog“. <https://www.visartech.com/blog/advantages-of-standalone-vr-over-pc-vr/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [51] „PlayStation® Official Site: Consoles, Games, Accessories & More“. <https://www.playstation.com/en-us/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [52] „Graphics processing unit - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/Graphics\\_processing\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Graphics_processing_unit) (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [53] „Compare VR headsets“. <https://benchmarks.ul.com/compare/best-vr-headsets> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [54] „No. 2581: Binocular Vision“. <https://www.uh.edu/engines/epi2581.htm> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [55] A. Prithul, I. B. Adhanom, и E. Folmer, „Teleportation in Virtual Reality; A Mini-Review“, *Front Virtual Real*, том 2, 2021, doi: 10.3389/frvir.2021.730792.

- [56] K. Moghadam, C. Banigan, и E. D. Ragan, „Scene Transitions and Teleportation in Virtual Reality and the Implications for Spatial Awareness and Sickness“, *IEEE Trans Vis Comput Graph*, том 26, изд. 6, 2020, doi: 10.1109/TVCG.2018.2884468.
- [57] K. J. L. Nevelsteen, „Virtual world, defined from a technological perspective and applied to video games, mixed reality, and the Metaverse“, *Comput Animat Virtual Worlds*, том 29, изд. 1, 2018, doi: 10.1002/cav.1752.
- [58] „Manufacture Cardboard – Google VR“. <https://arvr.google.com/cardboard/manufacturers/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [59] „Oculus Rift S: PC-Powered VR Gaming Headset | Oculus“. <https://www.oculus.com/rift-s/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [60] „Qualcomm Snapdragon XR2 5G Platform | Qualcomm“. <https://www.qualcomm.com/products/application/xr-vr-ar/snapdragon-xr2-5g-platform> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [61] M. P. Jacob Habgood, D. Wilson, D. Moore, и S. Alapont, „HCI lessons from PlayStation VR“, 2017. doi: 10.1145/3130859.3131437.
- [62] „PlayStation®VR2 | The next generation of VR gaming on PS5 | PlayStation (US)“. <https://www.playstation.com/en-us/ps-vr2/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [63] A. Jerreat-Poole, „Virtual Reality, Disability, and Futurity Crippling Technologies in Half-Life: Alyx“, *Journal of Literary and Cultural Disability Studies*, том 16, изд. 1, 2022, doi: 10.3828/jlcds.2022.4.
- [64] „Valve Corporation“. <https://www.valvesoftware.com/en/> (приступљено Сеп. 27, 2022).
- [65] „About ARCHOS“, Приступљено: Сеп. 28, 2022. [На Интернету]. Available: [www.archos.com](http://www.archos.com).
- [66] „Avegant | Home“. <https://www.avegant.com/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [67] „OSVR HDK 2.0 Support“. [https://mysupport.razer.com/app/answers/detail/a\\_id/3764/~osvr-hdk-2.0-support](https://mysupport.razer.com/app/answers/detail/a_id/3764/~osvr-hdk-2.0-support) (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [68] „Android | The platform pushing what’s possible“. <https://www.android.com/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [69] „Microsoft – zvanična početna stranica“. <https://www.microsoft.com/sr-latn-me/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [70] „Linux.org“. <https://www.linux.org/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [71] „HP Reverb G2 VR Headset | HP® Official Site“. <https://www.hp.com/us-en/vr/reverb-g2-vr-headset.html> (приступљено Сеп. 27, 2022).

- [72] „HoloLens 2—Pricing and Options | Microsoft HoloLens“. <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/buy> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [73] „Enterprise augmented reality (AR) platform designed for business | Magic Leap“. <https://www.magicleap.com/en-us/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [74] „iPhone - Apple“. <https://www.apple.com/iphone/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [75] A. W. Utoyo, „Video Games as Tools for Education“, *Journal of Games, Game Art, and Gamification*, том 3, изд. 2, 2021, doi: 10.21512/jggag.v3i2.7255.
- [76] „id Tech 6 - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/Id\\_Tech\\_6](https://en.wikipedia.org/wiki/Id_Tech_6) (приступљено Окт. 03, 2022).
- [77] „The most powerful real-time 3D creation tool - Unreal Engine“. <https://www.unrealengine.com/en-US/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [78] „CRYENGINE | The complete solution for next generation game development by Crytek“. <https://www.cryengine.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [79] „Source - Valve Developer Community“. <https://developer.valvesoftware.com/wiki/Source> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [80] „Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine“. <https://unity.com/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [81] „Open 3D Engine“. <https://www.o3de.org/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [82] „CopperCube - free easy to use 3D engine“. <https://www.ambiera.com/coppercube/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [83] „Omniverse Platform for 3D Design Collaboration and Simulation | NVIDIA“. <https://www.nvidia.com/en-us/omniverse/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [84] „libGDX“. <https://libgdx.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [85] „stride3d/stride: Stride Game Engine (formerly Xenko)“. <https://github.com/stride3d/stride> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [86] „Torque3D - Torque3D“. <https://torque3d.org/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [87] „Home | Urho3D“. <https://urho3d.io/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [88] „OGRE - Open Source 3D Graphics Engine | Home of a marvelous rendering engine“. <https://www.ogre3d.org/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [89] „Three.js – JavaScript 3D Library“. <https://threejs.org/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [90] „Babylon.js: Powerful, Beautiful, Simple, Open - Web-Based 3D At Its Best“. <https://www.babylonjs.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [91] „WebGL Fundamentals“. <https://webglfundamentals.org/> (приступљено Окт. 04, 2022).

- [92] „A-Frame – Make WebVR“. <https://aframe.io/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [93] „Unity - Manual: Unity architecture“. <https://docs.unity3d.com/Manual/unity-architecture.html> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [94] „Haptic technology - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/Haptic\\_technology](https://en.wikipedia.org/wiki/Haptic_technology) (приступљено Окт. 06, 2022).
- [95] „Teslasuit | Meet our Haptic VR Suit and Glove with Force Feedback“. <https://teslasuit.io/> (приступљено Окт. 06, 2022).
- [96] S. P. Anstadt, S. Bradley, и A. Burnette, „Virtual worlds: Relationship between real life and experience in second life“, *International Review of Research in Open and Distance Learning*, том 14, изд. 4, 2013, doi: 10.19173/irrodl.v14i4.1454.
- [97] D. Bobbitt, „Teaching McLuhan: Understanding Understanding Media | Enculturation“, *Enculturation*, изд. 4, 2011.
- [98] M. Rocchetti, „IEEE first workshop on networking issues on multimedia entertainment“, *Computers in Entertainment*, том 2, изд. 2, 2004, doi: 10.1145/1008213.1008226.
- [99] S. Warburton, „Second Life in higher education: Assessing the potential for and the barriers to deploying virtual worlds in learning and teaching“, *British Journal of Educational Technology*, том 40, изд. 3, 2009, doi: 10.1111/j.1467-8535.2009.00952.x.
- [100] „High Fidelity“. <https://github.com/highfidelity> (приступљено Сеп. 20, 2022).
- [101] „Virbela: A Virtual World for Work, Education & Events“. <https://www.virbela.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [102] „Rec Room“. <https://recroom.com/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [103] C. Pearce, B. R. Blackburn, и C. Symborski, „Virtual Worlds Survey Report: A Trans-World Study of Non-Game Virtual Worlds - Demographics, Attitudes, and Preferences“, *Virtual World Survey*, 2015.
- [104] „Amazon Sumerian | 3D AR & VR Applications | AWS“. <https://aws.amazon.com/sumerian/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [105] P. Gladović, N. Deretić, и D. Drašković, „Video Conferencing and its Application in Education“, *JTTTP - JOURNAL OF TRAFFIC AND TRANSPORT THEORY AND PRACTICE*, том 5, изд. 1, 2020, doi: 10.7251/jtttp2001045g.
- [106] M. C. Howard и E. C. van Zandt, „A meta-analysis of the virtual reality problem: Unequal effects of virtual reality sickness across individual differences“, *Virtual Real*, том 25, изд. 4, 2021, doi: 10.1007/s10055-021-00524-3.
- [107] „VRChat“. <https://hello.vrchat.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [108] „Home | sinespace“. <https://sine.space/> (приступљено Окт. 03, 2022).

- [109] „Activeworlds: Home of the 3D Internet“. <https://www.activeworlds.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [110] „Marvelous Designer“. <https://www.marvelousdesigner.com/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [111] „Home | Mono“. <https://www.mono-project.com/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [112] Z. J. Zhong, „The effects of collective MMORPG (Massively Multiplayer Online Role-Playing Games) play on gamers' online and offline social capital“, *Comput Human Behav*, том 27, изд. 6, 2011, doi: 10.1016/j.chb.2011.07.014.
- [113] M. R. de A. Souza, L. Veado, R. T. Moreira, E. Figueiredo, и H. Costa, „A systematic mapping study on game-related methods for software engineering education“, *Information and Software Technology*, том 95. 2018. doi: 10.1016/j.infsof.2017.09.014.
- [114] S. Sharma, P. Devreaux, D. Scribner, J. Grynovicki, и P. Grazaitis, „Megacity: A collaborative virtual reality environment for emergency response, training, and decision making“, 2017. doi: 10.2352/ISSN.2470-1173.2017.1.VDA-390.
- [115] J. Cruz-Benito и остали, „Usalpharma: A Software Architecture to Support Learning in Virtual Worlds“, *Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje*, том 11, изд. 3, 2016, doi: 10.1109/RITA.2016.2589719.
- [116] C. Passos, M. H. da Silva, A. C. A. Mol, и P. V. R. Carvalho, „Design of a collaborative virtual environment for training security agents in big events“, *Cognition, Technology and Work*, том 19, изд. 2–3, 2017, doi: 10.1007/s10111-017-0407-5.
- [117] E. Scott и M. Campo, „An adaptive 3D virtual learning environment for training software developers in scrum“, *Interactive Learning Environments*, 2021, doi: 10.1080/10494820.2021.1999985.
- [118] „sloodle“. <https://github.com/sloodle> (приступљено Сеп. 20, 2022).
- [119] K. Stendal и S. Balandin, „Virtual worlds for people with autism spectrum disorder: A case study in Second Life“, *Disabil Rehabil*, том 37, изд. 17, 2015, doi: 10.3109/09638288.2015.1052577.
- [120] J. F. Herrero и G. Lorenzo, „An immersive virtual reality educational intervention on people with autism spectrum disorders (ASD) for the development of communication skills and problem solving“, *Educ Inf Technol (Dordr)*, том 25, изд. 3, 2020, doi: 10.1007/s10639-019-10050-0.
- [121] M. Krajčovič, G. Gabajová, B. Furmannová, V. Vavřík, M. Gašo, и M. Matys, „A case study of educational games in virtual reality as a teaching method of lean management“, *Electronics (Switzerland)*, том 10, изд. 7, 2021, doi: 10.3390/electronics10070838.
- [122] „Moodle - Open-source learning platform | Moodle.org“. <https://moodle.org/> (приступљено Сеп. 28, 2022).

- [123] „OpenSimulator“. [http://opensimulator.org/wiki/Main\\_Page](http://opensimulator.org/wiki/Main_Page) (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [124] „3ds Max Software | Get Prices & Buy Official 3ds Max 2023 | Autodesk“. <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [125] S. Mystakidis, „Distance Education Gamification in Social Virtual Reality: A Case Study on Student Engagement“, 2020. doi: 10.1109/IISA50023.2020.9284417.
- [126] I. Rodríguez, M. Salamó, и A. Puig, „Design and evaluation of gamification experiences in computer science studies“, у *International Conference on Higher Education Advances*, 2020, том 2020-June. doi: 10.4995/HEAd20.2020.11212.
- [127] M. Gadille, M. A. Impedovo, J. Rémon, и C. Corvasce, „Interdependent creativity for learning in a virtual world“, *Information and Learning Science*, том 122, изд. 9–10, 2021, doi: 10.1108/ILS-02-2020-0038.
- [128] B. Кye, N. Han, E. Kim, Y. Park, и S. Jo, „Educational applications of metaverse: Possibilities and limitations“, *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, том 18. 2021. doi: 10.3352/jeehp.2021.18.32.
- [129] B. K. Wiederhold и G. Riva, „Virtual Reality Therapy: Emerging Topics and Future Challenges“, *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, том 22, изд. 1, 2019, doi: 10.1089/cyber.2018.29136.bkw.
- [130] R. M. Satava, „Virtual reality, telesurgery, and the new world order of medicine“, *Computer Aided Surgery*, том 1, изд. 1, 1995, doi: 10.3109/10929089509106821.
- [131] R. M. Satava, „Medical applications of virtual reality“, *J Med Syst*, том 19, изд. 3, 1995, doi: 10.1007/BF02257178.
- [132] „CARLA Simulator“. <https://carla.org/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [133] „Remote Human“. <http://remote-human.com/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [134] R. M. Satava, „Robotic surgery: From past to future - A personal journey“, *Surgical Clinics of North America*, том 83, изд. 6. 2003. doi: 10.1016/S0039-6109(03)00168-3.
- [135] D. Grider, „The Metaverse Web 3.0 Virtual Cloud Economies“, 2021.
- [136] „T-HR3 | TOYOTA Toyota Motor Europe“. <https://www.toyota-europe.com/startyourimpossible/t-hr3> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [137] M. J. Dondlinger, „Educational video game design: A review of the literature“, *Journal of Applied Educational Technology*, том 4, изд. 1, 2007, doi: 10.1108/10748120410540463.
- [138] G. Quinones и M. Adams, „Children’s Virtual Worlds and Friendships during the covid-19 Pandemic“, *Video Journal of Education and Pedagogy*, том 5, изд. 1, 2021, doi: 10.1163/23644583-bja10015.



- [139] „Labster | 250+ virtual labs for universities and high schools“. <https://www.labster.com/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [140] M. T. Bonde и остали, „Improving biotech education through gamified laboratory simulations“, *Nat Biotechnol*, том 32, изд. 7, 2014, doi: 10.1038/nbt.2955.
- [141] T. Uğraş, K. Rızvanoğlu, и S. Gülseçen, „New co-design techniques for digital game narrative design with children“, *Int J Child Comput Interact*, том 31, 2022, doi: 10.1016/j.ijcci.2021.100441.
- [142] S. Neu, „Use of massively multiplayer online role play games by college students.“, *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering*, 2009.
- [143] K. Valentino, K. Christian, и E. Joelianto, „Virtual reality flight simulator“, *Internetworking Indonesia Journal*, том 9, изд. 1, 2017.
- [144] M. J. Maas и J. M. Hughes, „Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: a review of the literature“, *Technology, Pedagogy and Education*, том 29, изд. 2, 2020, doi: 10.1080/1475939X.2020.1737210.
- [145] T. Y. Aikina и L. M. Bolsunovskaya, „Moodle-based learning: Motivating and demotivating factors“, *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, том 15, изд. 2, 2020, doi: 10.3991/ijet.v15i02.11297.
- [146] M. Bali, P. Goes, E. Haug, и A. Patankar, „COVID-19 impacts on virtual exchange around the world“, *Journal of Virtual Exchange*, том 4 SI:IVEC2020, 2021, doi: 10.21827/jve.4.38198.
- [147] S. Kim и S. Lee, „Smash the dichotomy of Skeuomorphism and flat design: Designing an affordable interface to correspond with the human perceptuomotor process“, *International Journal of Human Computer Studies*, том 141, 2020, doi: 10.1016/j.ijhcs.2020.102435.
- [148] Sharon Mistretta, „The Metaverse—An Alternative Education Space“.
- [149] „Distance Learning Moves Into ‚Second Life‘ Virtual Classroom -- ScienceDaily“. <https://www.sciencedaily.com/releases/2007/02/070207193301.htm> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [150] „Activeworlds: Home of the 3D Internet“. <https://www.activeworlds.com/> (приступљено Сеп. 29, 2022).
- [151] D. C. Schwebel, T. Combs, D. Rodriguez, J. Severson, и V. Sisiopiku, „Community-based pedestrian safety training in virtual reality: A pragmatic trial“, *Accid Anal Prev*, том 86, 2016, doi: 10.1016/j.aap.2015.10.002.
- [152] G. Lorenzo, A. Lledó, J. Pomares, и R. Roig, „Design and application of an immersive virtual reality system to enhance emotional skills for children with autism spectrum disorders“, *Comput Educ*, том 98, 2016, doi: 10.1016/j.compedu.2016.03.018.

- [153] D. C. Strickland, D. McAllister, C. D. Coles, и S. Osborne, „An evolution of virtual reality training designs for children with autism and fetal alcohol spectrum disorders“, *Top Lang Disord*, том 27, изд. 3, 2007, doi: 10.1097/01.TLD.0000285357.95426.72.
- [154] F. Ке, S. Lee, и X. Xu, „Teaching training in a mixed-reality integrated learning environment“, *Comput Human Behav*, том 62, 2016, doi: 10.1016/j.chb.2016.03.094.
- [155] M. R. Kandalaf, N. Didehbani, D. C. Krawczyk, T. T. Allen, и S. B. Chapman, „Virtual reality social cognition training for young adults with high-functioning autism“, *J Autism Dev Disord*, том 43, изд. 1, 2013, doi: 10.1007/s10803-012-1544-6.
- [156] E. Koricanin, M. Saracevic, E. Bisevac, и H. Kamberovic, „Concept and types of virtual environment: Research about positive impact on teaching and learning“, *Unite Journal of Information Technology and Economics*, том 1, изд. 1, 2014.
- [157] Muzafer H. Saračević, „Application of educational computer games and ‚Second Life‘ virtual environment in teaching“.
- [158] „Flow (psychology) - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/Flow\\_\(psychology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Flow_(psychology)) (приступљено Сеп. 29, 2022).
- [159] V. B. Vasudevamurt и A. Uskov, „Serious game engines: Analysis and applications“, у *IEEE International Conference on Electro Information Technology*, 2015, том 2015-June. doi: 10.1109/EIT.2015.7293381.
- [160] K. D. Squire, M. Barnett, J. M. Grant, и T. Higginbotham, „Electromagnetism Supercharged ! Learning Physics with Digital Simulation Games Theoretical Background : Electrostatics and Conceptual Physics“, *ICLS '04: Proceedings of the 6 th international conference on Learning sciences*, 2004.
- [161] M. Suvajdzic и D. Stojanovic, „Discover DaVinci: Blockchain, Art and New Ways of Digital Learning“, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, том 6, изд. 5, 2021, doi: 10.25046/aj060530.
- [162] „IF ... An Emotional-Intelligence Game for Kids on the iPad – Dandelion Women“. <https://dandelionwomen.com/2014/02/if-an-emotional-intelligence-game-for-kids-on-the-ipad/> (приступљено Сеп. 29, 2022).
- [163] „Welcome to the Minecraft Official Site | Minecraft“. <https://www.minecraft.net/en-us> (приступљено Сеп. 29, 2022).
- [164] „Roblox“. <https://www.roblox.com/> (приступљено Сеп. 29, 2022).
- [165] A. Cannavo и F. Lamberti, „How Blockchain, Virtual Reality, and Augmented Reality are Converging, and Why“, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, том 10, изд. 5, 2021, doi: 10.1109/MCE.2020.3025753.
- [166] O. Pal, B. Alam, V. Thakur, и S. Singh, „Key management for blockchain technology“, *ICT Express*, том 7, изд. 1, 2021, doi: 10.1016/j.ict.2019.08.002.

- [167] T. Hidayat и R. Mahardiko, „DATA ENCRYPTION ALGORITHM AES BY USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY: A REVIEW“, *BACA: JURNAL DOKUMENTASI DAN INFORMASI*, том 42, изд. 1, 2021, doi: 10.14203/j.baca.v42i1.643.
- [168] S. R. Gordon и J. R. Gordon, „Organizational hurdles to distributed database management systems (DDBMS) adoption“, *Information and Management*, том 22, изд. 6, 1992, doi: 10.1016/0378-7206(92)90029-F.
- [169] Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen, и H. Wang, „An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends“, 2017. doi: 10.1109/BigDataCongress.2017.85.
- [170] „ethereum/solidity: Solidity, the Smart Contract Programming Language“. <https://github.com/ethereum/solidity> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [171] P. Satyavolu и A. Sangamnerkar, „Blockchain’s Smart Contracts: Driving the Next Wave of Innovation Across Manufacturing Value Chains“, *Cognizant*, изд. june, 2016.
- [172] „EIP-1155: Multi Token Standard“. <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1155> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [173] „ERC-20 Token Standard | ethereum.org“. <https://ethereum.org/en/developers/docs/standards/tokens/erc-20/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [174] E. Ordano, A. Meilich, M. Araoz, и Y. Jardi, „Decentraland A blockchain-based virtual world“, 2017.
- [175] „EIP-721: Non-Fungible Token Standard“. <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [176] R. Fahlenbrach и M. Frattaroli, „ICO investors“, *Financial Markets and Portfolio Management*, том 35, изд. 1, 2021, doi: 10.1007/s11408-020-00366-0.
- [177] A. Fowler и J. Pirker, „Tokenfication - The potential of non-fungible tokens (NFT) for game development“, 2021. doi: 10.1145/3450337.3483501.
- [178] C. Goanta, „Selling LAND in Decentraland: The Regime of Non-fungible Tokens on the Ethereum Blockchain Under the Digital Content Directive“, у *Disruptive Technology, Legal Innovation, and the Future of Real Estate*, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-52387-9\_8.
- [179] X. Li, P. Jiang, T. Chen, X. Luo, и Q. Wen, „A survey on the security of blockchain systems“, *Future Generation Computer Systems*, том 107, 2020, doi: 10.1016/j.future.2017.08.020.
- [180] C. Warmke, „What is bitcoin?“, *Inquiry (United Kingdom)*, 2020, doi: 10.1080/0020174X.2020.1860123.

- [181] R. Yang и остали, „Public and private blockchain in construction business process and information integration“, *Autom Constr*, том 118, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103276.
- [182] „Corda | Leading DLT Platform for Regulated Industries“. <https://www.corda.net/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [183] „Hyperledger Fabric – Hyperledger Foundation“. <https://www.hyperledger.org/use/fabric> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [184] „ConsenSys Quorum | ConsenSys“. <https://consensys.net/quorum/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [185] CoinMarketCap, „What is Ethereum (ETH)?“, *CoinMarketCap*, 2021.
- [186] C. Dannen, *Introducing ethereum and solidity: Foundations of cryptocurrency and blockchain programming for beginners*. 2017. doi: 10.1007/978-1-4842-2535-6.
- [187] K. Iyer и C. Dannen, *Building Games with Ethereum Smart Contracts*. 2018. doi: 10.1007/978-1-4842-3492-1.
- [188] „Proof of Work (PoW) Definition“. <https://www.investopedia.com/terms/p/proof-work.asp> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [189] „The Beacon Chain | ethereum.org“. <https://ethereum.org/en/upgrades/beacon-chain/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [190] „What Does Proof-of-Stake (PoS) Mean in Crypto?“  
<https://www.investopedia.com/terms/p/proof-stake-pos.asp> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [191] „Neo Smart Economy“. <https://neo.org/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [192] „Corda | Leading DLT Platform for Regulated Industries“. <https://www.corda.net/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [193] P. J. Taylor, T. Dargahi, A. Dehghantanha, R. M. Parizi, и K. K. R. Choo, „A systematic literature review of blockchain cyber security“, *Digital Communications and Networks*, том 6, изд. 2. 2020. doi: 10.1016/j.dcan.2019.01.005.
- [194] „Dexaran/ERC223-token-standard: ERC223 token standard reference implementation.“  
<https://github.com/Dexaran/ERC223-token-standard> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [195] „EIP-777: Token Standard“. <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-777> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [196] „The Go Programming Language“. <https://go.dev/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [197] „A decentralized storage network for humanity’s most important information | Filecoin“. <https://filecoin.io/> (приступљено Сеп. 22, 2022).

- [198] „Avalanche: Blazingly Fast, Low Cost, & Eco-Friendly | Dapps Platform“. <https://www.avax.network/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [199] „Bring the World to Ethereum | Polygon - Polygon“. <https://polygon.technology/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [200] „Immutable X | Powering The Next Generation Of Web3 Games“. <https://www.immutable.com/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [201] „Off-Chain Transactions (Cryptocurrency) Definition“. <https://www.investopedia.com/terms/o/offchain-transactions-cryptocurrency.asp> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [202] „Blockchain Oracles for Hybrid Smart Contracts | Chainlink“. <https://chain.link/> (приступљено Сеп. 22, 2022).
- [203] T. Lyles, „PayPal will let US users pay with Bitcoin, Ethereum, and Litecoin starting today“, *Verge*, 2021.
- [204] X. Liang, J. Zhao, S. Shetty, J. Liu, и D. Li, „Integrating blockchain for data sharing and collaboration in mobile healthcare applications“, у *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, 2018, том 2017-October. doi: 10.1109/PIMRC.2017.8292361.
- [205] H. Jo и S. Hwang, „Chili: Viewpoint Control and On-Video Drawing for Mobile Video Calls“, у *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 2013, том 2013-April. doi: 10.1145/2468356.2468610.
- [206] B. Ryskeldiev, Y. Ochiai, M. Cohen, и J. Herder, „Distributed metaverse: Creating decentralized blockchain-based model for peer-To-peer sharing of virtual spaces for mixed reality applications“, 2018. doi: 10.1145/3174910.3174952.
- [207] „Peer-to-peer - Wikipedia“. <https://en.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [208] „WebRTC“. <https://webrtc.org/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [209] „BitTorrent | The World’s Most Popular Torrent Client“. <https://www.bittorrent.com/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [210] „RFC 3977 - Network News Transfer Protocol (NNTP)“. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3977> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [211] „Freenet“. <https://freenetproject.org/index.html> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [212] „Mnet (peer-to-peer network) - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/Mnet\\_\(peer-to-peer\\_network\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mnet_(peer-to-peer_network)) (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [213] S. Rueda, P. Morillo, и J. M. Orduña, „A comparative study of awareness methods for peer-to-peer distributed virtual environments“, *Comput Animat Virtual Worlds*, том 19, изд. 5, 2008, doi: 10.1002/cav.230.

- [214] „Distributed hash table - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed\\_hash\\_table](https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_hash_table) (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [215] M. Wang, J. Jia, N. Xie, и C. Zhang, „Interest-driven avatar neighbor-organizing for P2P transmission in distributed virtual worlds“, *Comput Animat Virtual Worlds*, том 27, изд. 6, 2016, doi: 10.1002/cav.1670.
- [216] T. Kotsilieris, G. T. Karetos, I. Anagnostopoulos, и N. A. Dimopoulou, „Interconnecting distributed virtual worlds using Metabots: Performance evaluation against the traditional client-server model“, *Comput Animat Virtual Worlds*, том 26, изд. 6, 2015, doi: 10.1002/cav.1623.
- [217] „Sia - Decentralized data storage“. <https://sia.tech/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [218] „Storj | Fast, secure cloud storage at a fraction of the cost.“ <https://www.storj.io/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [219] „Digital Freedom now - Swarm“. <https://www.ethswarm.org/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [220] „CAP Theorem for Databases: Consistency, Availability & Partition Tolerance – BMC Software | Blogs“. <https://www.bmc.com/blogs/cap-theorem/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [221] „mongodb/mongo: The MongoDB Database“. <https://github.com/mongodb/mongo> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [222] „Apache Cassandra | Apache Cassandra Documentation“. [https://cassandra.apache.org/\\_/index.html](https://cassandra.apache.org/_/index.html) (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [223] „RethinkDB: the open-source database for the realtime web“. <https://rethinkdb.com/> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [224] „How does blockchain solve the Byzantine generals problem?“ <https://cointelegraph.com/blockchain-for-beginners/how-does-blockchain-solve-the-byzantine-generals-problem> (приступљено Сеп. 30, 2022).
- [225] T. Mcconaghy и остали, „BigchainDB: A Scalable Blockchain Database (DRAFT)“, *BigchainDB*, 2016.
- [226] G. Cormode и B. Krishnamurthy, „Key differences Web 1.0 and Web 2.0“, *First Monday*, том 13, изд. 6, 2008.
- [227] C. Fuchs, W. Hofkirchner, M. Schafranek, C. Raffl, M. Sandoval, и R. Bichler, „Theoretical foundations of the web: Cognition, communication, and co-operation. towards an understanding of web 1.0, 2.0, 3.0“, *Future Internet*, том 2, изд. 1, 2010, doi: 10.3390/fi2010041.
- [228] D. Thakker, P. Patel, M. I. Ali, и T. Shah, „Semantic Web of Things for Industry 4.0“, *Semantic Web*, том 11, изд. 6, 2020. doi: 10.3233/SW-200407.

- [229] „What Is an Oracle in Blockchain? » Explained | Chainlink“. <https://chain.link/education/blockchain-oracles> (приступљено Окт. 02, 2022).
- [230] „SNOOPERS’ CHARTER - Liberty“. <https://www.libertyhumanrights.org.uk/fundamental/mass-surveillance-snoopers-charter/> (приступљено Окт. 02, 2022).
- [231] „Bitcoin and Ethereum use more energy than many developed nations, but are they bad for the environment?“ <https://yourstory.com/the-decrypting-story/bitcoin-energy-use-consumption-ethereum> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [232] „A Guide to Ecofriendly CryptoArt (NFTs) - Branch“. <https://branch.climateaction.tech/issues/issue-2/a-guide-to-ecofriendly-cryptoart-nfts/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [233] S. Hassan и P. de Filippi, „Decentralized autonomous organization“, *Internet Policy Review*, том 10, изд. 2, 2021, doi: 10.14763/2021.2.1556.
- [234] S. Wang, W. Ding, J. Li, Y. Yuan, L. Ouyang, и F. Y. Wang, „Decentralized Autonomous Organizations: Concept, Model, and Applications“, *IEEE Trans Comput Soc Syst*, том 6, изд. 5, 2019, doi: 10.1109/TCSS.2019.2938190.
- [235] W. Hu, Y. Pei, и Y. Zhang, „NEW ENERGY-SAVING AND ECO-FRIENDLY DISPATCHING MODEL FOR MICROGRID BASED ON ENERGY BLOCKCHAIN“, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, том 23, изд. 1, 2022.
- [236] T. Weissker и B. Froehlich, „Group Navigation for Guided Tours in Distributed Virtual Environments“, *IEEE Trans Vis Comput Graph*, том 27, изд. 5, 2021, doi: 10.1109/TVCG.2021.3067756.
- [237] T. Weissker, P. Bimberg, и B. Froehlich, „Getting There Together: Group Navigation in Distributed Virtual Environments“, *IEEE Trans Vis Comput Graph*, том 26, изд. 5, 2020, doi: 10.1109/TVCG.2020.2973474.
- [238] „Home | Uniswap Protocol“. <https://uniswap.org/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [239] „Main Home - Everledger“. <https://everledger.io/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [240] „BitDAO“. <https://www.bitdao.io/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [241] „LexDAO“. <https://www.lexdao.coop/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [242] „Pleasr“. <https://pleasr.org/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [243] „The diaspora\* Project“. <https://diasporafoundation.org/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [244] „Trending posts — Steemit“. <https://steemit.com/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [245] „Augur is the world’s most accessible, low-fee, no-limit betting platform.“ <https://augur.net/> (приступљено Окт. 05, 2022).

- [246] „OpenSea, the largest NFT marketplace“. <https://opensea.io/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [247] „Sapien | Homepage“. <https://www.sapien.network/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [248] S. Suganya, S. Gurusamy, и К. Janaki, „Pay Per Click Advertising-Future Marketing Tool?“, *Studies in Indian Place Names*, том 40, изд. 16, 2020.
- [249] S. Perera, S. Nanayakkara, M. N. N. Rodrigo, S. Senaratne, и R. Weinand, „Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry?“, *Journal of Industrial Information Integration*, том 17. 2020. doi: 10.1016/j.jii.2020.100125.
- [250] „What Is Decentralized Finance (DeFi) and How Does It Work?“ <https://www.investopedia.com/decentralized-finance-defi-5113835> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [251] S. Jokić, „Analysis and security of crypto currency wallets“, *ZBORNIK RADOVA UNIVERZITETA SINERGIJA*, том 19, изд. 4, 2019, doi: 10.7251/zrsng1801102j.
- [252] „Synthetix“. <https://synthetix.io/> (приступљено Окт. 10, 2022).
- [253] A. Grech и A. Camilleri, „Blockchain for Education“, *JCR Science for Policy Report, Inamorato Dos Santos, A (ed) EUR 28778 EN*, 2017.
- [254] M. Turkanović, M. Hölbl, K. Košič, M. Heričko, и A. Kamišalić, „EduCTX: A blockchain-based higher education credit platform“, *IEEE Access*, том 6, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2789929.
- [255] „ARK.io | A Blockchain Ecosystem Built For Everyone“. <https://ark.io/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [256] „DISCIPLINA – the first blockchain to create verified personal profiles based on academic and professional achievements“. <https://www.disciplina.io/> (приступљено Сеп. 22, 2022).
- [257] J. Davis, „Non-Fungible Token ( Nft ) – the Game Changer in the Digital Art“, *Cienc Soc*, изд. June, 2021.
- [258] E. Saiedi, A. Broström, и F. Ruiz, „Global drivers of cryptocurrency infrastructure adoption“, *Small Business Economics*, том 57, изд. 1, 2021, doi: 10.1007/s11187-019-00309-8.
- [259] P. Bhattacharya и остали, „Coalition of 6G and Blockchain in AR/VR Space: Challenges and Future Directions“, *IEEE Access*, том 9, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3136860.
- [260] „CEEK - Watch Music Concerts Online, Virtual Reality Live Streaming | Full HD Concerts | 360VR Live| 3D Concerts |Phone VR App |VR Concerts | Live Virtual Concerts“. <https://www.cek.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [261] „The Deep VR company CO Main“. <https://thedeepvr.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).



- [262] „Somnium Space“. <https://somniumspace.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [263] „MATERIA.ONE“. <https://www.materiaone.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [264] „VIBEHUB.io“. <https://www.vibehub.io/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [265] „The Sandbox Game — User-Generated Crypto & Blockchain Games“. <https://www.sandbox.game/en/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [266] „Disney: The Metaverse, Digital Transformation, And The Future Of Storytelling“. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2022/10/07/disney-the-metaverse-digital-transformation-and-the-future-of-storytelling/?sh=64ed9dbf13c0> (приступљено Окт. 08, 2022).
- [267] „Metaversed“. <https://www.metaversed.consulting/blog/the-metaverse-directory-virtual-worlds-from-a-to-z> (приступљено Окт. 08, 2022).
- [268] „Distributed Hash Tables with Kademlia — Stanford Code the Change Guides documentation“. [https://codethechange.stanford.edu/guides/guide\\_kademlia.html](https://codethechange.stanford.edu/guides/guide_kademlia.html) (приступљено Окт. 03, 2022).
- [269] „VIBEHUB.io“. <https://www.vibehub.io/> (приступљено Сеп. 22, 2022).
- [270] „Mona“. <https://monaverse.com/about> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [271] R. Marlatt, „Capitalizing on the Craze of Fortnite: Toward a Conceptual Framework for Understanding How Gamers Construct Communities of Practice“, *Journal of Education*, том 200, изд. 1, 2020, doi: 10.1177/0022057419864531.
- [272] „Horizon Worlds | Virtual Reality Worlds and Communities“. <https://www.oculus.com/horizon-worlds/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [273] „IMVU (Official Website) World’s Largest 3D Avatar Chat Game.“. <https://about.imvu.com/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [274] B. A. Deaky и A. L. Parv, „Virtual Reality for Real Estate - A case study“, у *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, том 399, изд. 1. doi: 10.1088/1757-899X/399/1/012013.
- [275] „The crypto wallet for Defi, Web3 Dapps and NFTs | MetaMask“. <https://metamask.io/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [276] „Buy/Sell Bitcoin, Ether and Altcoins | Cryptocurrency Exchange | Binance“. <https://www.binance.com/en> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [277] „NonFungible.com | NFT market stats, sales tracker, rankings & news“. <https://nonfungible.com/> (приступљено Сеп. 28, 2022).
- [278] G. Nannicini, „An introduction to quantum computing, without the physics“, *SIAM Review*, том 62, изд. 4, 2020, doi: 10.1137/18M1170650.

- [279] „Snow Crash - Wikipedia“. [https://en.wikipedia.org/wiki/Snow\\_Crash](https://en.wikipedia.org/wiki/Snow_Crash) (приступљено Окт. 10, 2022).
- [280] Ernest. Cline, „Ready player one“, стр. 374, 2011.
- [281] „Pokémon GO“. <https://pokemongolive.com/en/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [282] „IKEA VR Experience on Steam“. [https://store.steampowered.com/app/447270/IKEA\\_VR\\_Experience/](https://store.steampowered.com/app/447270/IKEA_VR_Experience/) (приступљено Окт. 04, 2022).
- [283] Y. Du, T. D. Grace, K. Jagannath, и K. Salen-Tekinbas, „Connected play in virtual worlds: Communication and control mechanisms in virtual worlds for children and adolescents“, *Multimodal Technologies and Interaction*, том 5, изд. 5, 2021, doi: 10.3390/MTI5050027.
- [284] N. Xi, J. Chen, F. Gama, M. Riar, и J. Hamari, „The challenges of entering the metaverse: An experiment on the effect of extended reality on workload“, *Information Systems Frontiers*, 2022, doi: 10.1007/s10796-022-10244-x.
- [285] S. Goossens, C. Morgan, C. Kuru, F. Ji, и D. J. Cespedes, „Protecting intellectual property in the Metaverse.“, *Intellectual Property & Technology Law Journal*, том 33, изд. 9, 2021.
- [286] „The Metaverse Standards Forum“. <https://metaverse-standards.org/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [287] E. Ries, „The Lean Startup by Eric Ries“, *The Starta*, 2016.
- [288] J. Euchner и S. Blank, „Lean Startup and Corporate Innovation: An Interview with Steve Blank: Jim Euchner talks with Steve Blank about innovation in corporations. Lean Startup is only part of the solution.“, *Research Technology Management*, том 64, изд. 5. 2021. doi: 10.1080/08956308.2021.1950399.
- [289] P. Rola, D. Kuchta, и D. Korpczyk, „Conceptual model of working space for Agile (Scrum) project team“, *Journal of Systems and Software*, том 118, 2016, doi: 10.1016/j.jss.2016.04.071.
- [290] M. Bogers, H. Chesbrough, и C. Moedas, „Open innovation: Research, practices, and policies“, *Calif Manage Rev*, том 60, изд. 2, 2018, doi: 10.1177/0008125617745086.
- [291] P. Wilkinson, „Brief history of serious games“, у *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2016, том 9970 LNCS. doi: 10.1007/978-3-319-46152-6\_2.
- [292] Jeff Tyson, „The History of Video Games | HowStuffWorks“, *Howstuffworks.Com*. 2021.
- [293] J. Bourgonjon, M. Valecke, R. Soetaert, и T. Schellens, „Students’ perceptions about the use of video games in the classroom“, *Comput Educ*, том 54, изд. 4, 2010, doi: 10.1016/j.compedu.2009.10.022.

- [294] M. Rocha, B. Tangney, и P. Dondio, „Play and learn: Teachers’ perceptions about classroom video games“, у *Proceedings of the European Conference on Games-based Learning*, 2018, том 2018-October.
- [295] S. Turkay, D. Hoffman, C. K. Kinzer, P. Chantes, и C. Vicari, „Toward Understanding the Potential of Games for Learning: Learning Theory, Game Design Characteristics, and Situating Video Games in Classrooms“, *Computers in the Schools*, том 31, изд. 1–2, 2014, doi: 10.1080/07380569.2014.890879.
- [296] J. W. Rice, „New media resistance: Barriers to implementation of computer video games in the classroom“, *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, том 16, изд. 3, 2007.
- [297] A. Gampell, J. C. Gaillard, M. Parsons, и L. le Dé, „‘Serious’ Disaster Video Games: An Innovative Approach to Teaching and Learning about Disasters and Disaster Risk Reduction“, *Journal of Geography*, 2020, doi: 10.1080/00221341.2020.1795225.
- [298] J. Lane, „Simulations and the future of learning: An innovative (and perhaps revolutionary) approach to e-learning by Clark Aldrich“, *Performance Improvement*, том 45, изд. 4, 2006, doi: 10.1002/pfi.2006.4930450410.
- [299] J. Höysniemi, „International survey on the dance dance revolution game“, *Computers in Entertainment*, том 4, изд. 2, 2006, doi: 10.1145/1129006.1129019.
- [300] H. Bicen и S. Kocakoyun Aydogan, „Gamification education for parents: Effects on motivation and communication“, *Revista de Cercetare si Interventie Sociala*, том 69, 2020, doi: 10.33788/rcis.69.11.
- [301] O. Alawajee и J. Delafield-Butt, „Minecraft in education benefits learning and social engagement“, *International Journal of Game-Based Learning*, том 11, изд. 4. 2021. doi: 10.4018/IJGBL.2021100102.
- [302] A. N. Saleem, N. M. Noori, и F. Ozdamli, „Gamification Applications in E-learning: A Literature Review“, *Technology, Knowledge and Learning*, том 27, изд. 1, 2022, doi: 10.1007/s10758-020-09487-x.
- [303] A. C. B. Reis, E. S. Júnior, B. B. Gewehr, и M. H. Torres, „Prospects for using gamification in industry 4.0“, *Production*, том 30, 2020, doi: 10.1590/0103-6513.20190094.
- [304] F. J. Gallego-Durán, C. J. Villagrà-Arnedo, R. Satorre-Cuerda, P. Compañ-Rosique, R. Molina-Carmona, и F. Llorens-Largo, „A guide for game-design-based gamification“, *Informatics*, том 6, изд. 4, 2019, doi: 10.3390/informatics6040049.
- [305] O. Goethe, *Gamification Mindset*. 2019.
- [306] „Realistic vs. Stylized: Technique Overview“. <https://80.lv/articles/realistic-vs-stylized-technique-overview/> (приступљено Окт. 05, 2022).

- [307] „Classcraft - Relationships are everything.“ <https://www.classcraft.com/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [308] „ZERETO - Make Yours“. <https://zereto.me/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [309] „Gather | Building better teams, bit by bit“. <https://www.gather.town/> (приступљено Окт. 05, 2022).
- [310] S. Kim, K. Song, B. Lockee, и J. Burton, „What is Gamification in Learning and Education?. In: Gamification in Learning and Education. Advances in Game-Based Learning“, *Springer, Cham*, 2018.
- [311] A. Feng, E. S. Rosenberg, и A. Shapiro, „Just-in-time, viable, 3-D avatars from scans“, у *Computer Animation and Virtual Worlds*, 2017, том 28, изд. 3–4. doi: 10.1002/cav.1769.
- [312] A. W. Loston, P. L. Steffen, и S. McGee, „NASA education: Using inquiry in the classroom so that students see learning in a whole new light“, *J Sci Educ Technol*, том 14, изд. 2, 2005, doi: 10.1007/s10956-005-4418-2.
- [313] „Digital Twins Made Easy | AWS IoT TwinMaker | Amazon Web Services“. <https://aws.amazon.com/iot-twinmaker/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [314] „Home | Neurotwin“. <https://www.neurotwin.eu/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [315] „GE Digital CEO Says ‘Digital Twins’ Will Optimize Machinery, Human Health - WSJ“. <https://www.wsj.com/articles/BL-CIOB-8898> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [316] „Introducing The Mindboggling Flying Taxis Of The Future | Bernard Marr“. <https://bernardmarr.com/introducing-the-mindboggling-flying-taxis-of-the-future/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [317] „51WORLD“. <https://www.51aes.com/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [318] „A look inside SoFi Stadium: a digital twin like no other | Willow“. <https://www.willowinc.com/posts/a-look-inside-sofi-stadium-a-digital-twin-like-no-other/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [319] „World’s first 3D-printed steel smart bridge opens in Amsterdam | Infrastructure Intelligence“. <http://www.infrastructure-intelligence.com/article/jul-2021/world%E2%80%99s-first-3d-printed-steel-smart-bridge-opens-amsterdam> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [320] F. Biesinger и M. Weyrich, „The Facets of Digital Twins in Production and the Automotive Industry“, 2019. doi: 10.1109/ICMECT.2019.8932101.
- [321] C. Wang, C. Wen, Y. Dai, S. Yu, и M. Liu, „Urban 3D modeling with mobile laser scanning: a review“, *Virtual Reality and Intelligent Hardware*, том 2, изд. 3. 2020. doi: 10.1016/j.vrih.2020.05.003.
- [322] S. Bianco, G. Ciocca, и D. Marelli, „Evaluating the performance of structure from motion pipelines“, *J Imaging*, том 4, изд. 8, 2018, doi: 10.3390/jimaging4080098.

- [323] R. Qin и A. Gruen, „The role of machine intelligence in photogrammetric 3D modeling— an overview and perspectives“, *International Journal of Digital Earth*, том 14, изд. 1. 2021. doi: 10.1080/17538947.2020.1805037.
- [324] „Code Alkonost: Awakening of Evil on Steam“. [https://store.steampowered.com/app/2062030/Code\\_Alkonost\\_Awakening\\_of\\_Evil/](https://store.steampowered.com/app/2062030/Code_Alkonost_Awakening_of_Evil/) (приступљено Окт. 04, 2022).
- [325] „MetaHuman - Unreal Engine“. <https://www.unrealengine.com/en-US/metahuman> (приступљено Сеп. 22, 2022).
- [326] „blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software“. <https://www.blender.org/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [327] „RealityCapture - 3D Models from Photos and/or Laser Scans“. <https://www.capturingreality.com/> (приступљено Окт. 07, 2022).
- [328] „VisualSFM : A Visual Structure from Motion System“. <http://ccwu.me/vsfm/index.html> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [329] „AliceVision | Meshroom - 3D Reconstruction Software“. <https://alicevision.org/#meshroom> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [330] N. Statham, „Use of Photogrammetry in Video Games: A Historical Overview“, *Games Cult*, том 15, изд. 3, 2020, doi: 10.1177/1555412018786415.
- [331] Z. Fang, L. Cai, и G. Wang, „MetaHuman Creator“, 2021.
- [332] Z. Fang, L. Cai, и G. Wang, „MetaHuman Creator the starting point of the metaverse“, 2021. doi: 10.1109/ISCTIS51085.2021.00040.
- [333] „Log In to Canvas“. <https://canvas.instructure.com/login/canvas> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [334] H. Y. Choi, „Working in the Metaverse: Does Telework in a Metaverse Office Have the Potential to Reduce Population Pressure in Megacities? Evidence from Young Adults in Seoul, South Korea“, *Sustainability (Switzerland)*, том 14, изд. 6, 2022, doi: 10.3390/su14063629.
- [335] „Vortex Prototype 18 5 2019 networking demo session (professor/admin perspective)“. [https://www.youtube.com/watch?v=LFaGEYTYGDM&ab\\_channel=VoRtexteam](https://www.youtube.com/watch?v=LFaGEYTYGDM&ab_channel=VoRtexteam) (приступљено Окт. 05, 2022).
- [336] „Vortex Prototype face recognition demo“. [https://www.youtube.com/watch?v=6a6CAOPzbKk&ab\\_channel=VoRtexteam](https://www.youtube.com/watch?v=6a6CAOPzbKk&ab_channel=VoRtexteam) (приступљено Окт. 05, 2022).
- [337] „Vortex Prototype 18 5 2019 networking demo session (student/user perspective) use case 2“. [https://www.youtube.com/watch?v=aZiHIOQs0ek&ab\\_channel=VoRtexteam](https://www.youtube.com/watch?v=aZiHIOQs0ek&ab_channel=VoRtexteam) (приступљено Окт. 05, 2022).

- [338] „VoRtex Web platform, showcase demo design“.  
[https://www.youtube.com/watch?v=X9enNkXX5II&ab\\_channel=VoRtexteam](https://www.youtube.com/watch?v=X9enNkXX5II&ab_channel=VoRtexteam)  
 (приступљено Окт. 05, 2022).
- [339] A. Naik, J. Choudhari, V. Pawar и S. Shitole, "Building an EdTech Platform Using Microservices and Docker," 2021 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon), 2021, том 1-6, doi: 10.1109/PuneCon52575.2021.9686535.
- [340] „Duo Mobile - Apps on Google Play“.  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.duosecurity.duomobile&hl=en&gl=US>  
 (приступљено Окт. 06, 2022).
- [341] A. F. Jimenez, P. F. Cardenas, A. Canales, F. Jimenez, и A. Portacio, „A survey on intelligent agents and multi-agents for irrigation scheduling“, *Computers and Electronics in Agriculture*, том 176. 2020. doi: 10.1016/j.compag.2020.105474.
- [342] H. Warpefelt и H. Verhagen, „A model of non-player character believability“, *Journal of Gaming and Virtual Worlds*, том 9, изд. 1, 2017, doi: 10.1386/jgvw.9.1.39\_1.
- [343] „Microsoft Mesh“. <https://www.microsoft.com/en-us/mesh> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [344] „Aca1990/VoRtexCoin: Solidity source code example for VoRtex platform“.  
<https://github.com/Aca1990/VoRtexCoin> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [345] R. M. Amir Latif, K. Hussain, N. Z. Jhanjhi, A. Nayyar, и O. Rizwan, „A remix IDE: smart contract-based framework for the healthcare sector by using Blockchain technology“, *Multimed Tools Appl*, том 81, изд. 19, 2022, doi: 10.1007/s11042-020-10087-1.
- [346] L. Wang, Y. Gao, J. Yan, и J. Qin, „From freemium to premium: the roles of consumption values and game affordance“, *Information Technology and People*, том 34, изд. 1, 2021, doi: 10.1108/ITP-10-2019-0527.
- [347] „Let’s Build A Decentralized Game Economy Using Blockchains [Part 1] | by Paul Gadi | Medium“. <https://medium.com/@polats/lets-build-a-decentralized-game-economy-using-blockchains-cf0a80e43da1> (приступљено Окт. 06, 2022).
- [348] V. A. Badrinarayanan, J. J. Sierra, и K. M. Martin, „A dual identification framework of online multiplayer video games: The case of massively multiplayer online role playing games (MMORPGs)“, *J Bus Res*, том 68, изд. 5, 2015, doi: 10.1016/j.jbusres.2014.10.006.
- [349] „Test Ether Faucet“. <https://faucet.metamask.io/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [350] „Etherscan Error Page“. <https://ropsten.etherscan.io/error.html?500> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [351] „Nethereum“. <https://nethereum.com/> (приступљено Окт. 03, 2022).

- [352] „Nethereum/Unity3dSimpleSample: Simple Unity3d sample“.  
<https://github.com/Nethereum/Unity3dSimpleSample> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [353] „Ethereum API | IPFS API & Gateway | ETH Nodes as a Service“.  
<https://infura.io/> (приступљено Окт. 03, 2022).
- [354] „openzeppelin-contracts/ERC1155.sol at master · OpenZeppelin/openzeppelin-contracts“.  
<https://github.com/OpenZeppelin/openzeppelin-contracts/blob/master/contracts/token/ERC1155/ERC1155.sol> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [355] „Vortex Prototype using Blockchain and VRC cryptocurrency demo“.  
[https://www.youtube.com/watch?v=GFJWu-\\_wlcQ&ab\\_channel=VoRtexteam](https://www.youtube.com/watch?v=GFJWu-_wlcQ&ab_channel=VoRtexteam) (приступљено Окт. 04, 2022).
- [356] R. Reis, Paula. Escudeiro, и Nuno. Escudeiro, „Comparing Social Virtual Worlds for Educational Purposes“, *Education (Chula Vista)*, том 1, изд. 1, 2012, doi: 10.5923/j.edu.20110101.04.
- [357] K. Lapin, „A comparison of three virtual world platforms for the purposes of learning support in VirtualLife“, у *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social- Informatics and Telecommunications Engineering*, 2010, том 40 LNICST. doi: 10.1007/978-3-642-12630-7\_33.
- [358] P. Escudeiro, J. Bidarra, и N. Escudeiro, „Evaluating educational software“, у *IMSCI 2009 - 3rd International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics, Proceedings*, 2009, том 1. doi: 10.4018/978-1-61350-074-3.ch022.
- [359] A. Víctor, M. García, Á. García, D. Dujó, и J. M. Muñoz Rodríguez, „FaCtorEs DEtErminantEs DE aDoPCiÓN DE BLENDED LEARNING En EDUCaCiÓN sUPERior. aDaPtación DEL moDELo UtaUt\* (DEtErminants of bLEnDED LEarninG aDoPtion in HiGHEr EDUCation. aDaPtation of tHE UtaUt moDEL)“, *Adaptación del modelo Utaut. Educación XXI A. V.; García del Dujó, A. y Muñoz Rodríguez, J. M.*, том 172, изд. 172, 2014.
- [360] C. Y. Huang и Y. S. Kao, „UTAUT2 Based Predictions of Factors Influencing the Technology Acceptance of Phablets by DNP“, *Math Probl Eng*, том 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/603747.
- [361] V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis, и F. D. Davis, „User acceptance of information technology: Toward a unified view“, *MIS Q*, том 27, изд. 3, 2003, doi: 10.2307/30036540.
- [362] O. Al-hujran, E. Al-lozi, и M. M. Al-debei, „“Get ready to mobile learning””: Examining factors affecting college students’ behavioral intentions to use m-Learning in Saudi Arabia“, *Jordan Journal of Business Administration*, том 10, изд. 1, 2014.

- [363] C. M. Chao, „Factors determining the behavioral intention to use mobile learning: An application and extension of the UTAUT model“, *Front Psychol*, том 10, изд. JULY, 2019, doi: 10.3389/fpsyg.2019.01652.
- [364] M. Jahanbakhsh, H. Peikari, F. Hazhir, и S. Saghaeiannejad-Isfahani, „An investigation into the effective factors on the acceptance and use of integrated health system in the primary health-care centers“, *J Educ Health Promot*, том 7, изд. 1, 2018, doi: 10.4103/jehp.jehp\_32\_18.
- [365] I. M. Macedo, „Predicting the acceptance and use of information and communication technology by older adults: An empirical examination of the revised UTAUT2“, *Comput Human Behav*, том 75, 2017, doi: 10.1016/j.chb.2017.06.013.
- [366] A. A. Alalwan, Y. K. Dwivedi, N. P. P. Rana, и M. D. Williams, „Consumer adoption of mobile banking in Jordan: Examining the role of usefulness, ease of use, perceived risk and self-efficacy“, *Journal of Enterprise Information Management*, том 29, изд. 1, 2016, doi: 10.1108/JEIM-04-2015-0035.
- [367] S. A. Brown и V. Venkatesh, „Model of adoption of technology in households: A baseline model test and extension incorporating household life cycle“, *MIS Quarterly: Management Information Systems*, том 29, изд. 3. 2005. doi: 10.2307/25148690.
- [368] M. Limayem, S. G. Hirt, и C. M. K. Cheung, „How habit limits the predictive power of intention: The case of information systems continuance“, *MIS Q*, том 31, изд. 4, 2007, doi: 10.2307/25148817.
- [369] P. Ramírez-Correa, F. J. Rondán-Cataluña, J. Arenas-Gaitán, и F. Martín-Velicia, „Analysing the acceptance of online games in mobile devices: An application of UTAUT2“, *Journal of Retailing and Consumer Services*, том 50, 2019, doi: 10.1016/j.jretconser.2019.04.018.
- [370] K. Nikolopoulou, V. Gialamas, и K. Lavidas, „Acceptance of mobile phone by university students for their studies: an investigation applying UTAUT2 model“, *Educ Inf Technol (Dordr)*, 2020, doi: 10.1007/s10639-020-10157-9.
- [371] L. C. Howe и J. A. Krosnick, „Attitude Strength“, *Annual Review of Psychology*, том 68. 2017. doi: 10.1146/annurev-psych-122414-033600.
- [372] Q. Jiang, J. Sun, C. Yang, и C. Gu, „The impact of perceived interactivity and intrinsic value on users' continuance intention in using mobile augmented reality virtual shoe-try-on function“, *Systems*, том 10, изд. 1, 2022, doi: 10.3390/systems10010003.
- [373] J. Spence, „Demographics of Virtual Worlds“, *Journal For Virtual Worlds Research*, том 1, изд. 2, 1970, doi: 10.4101/jvwr.v1i2.360.
- [374] „VoRtex School Open-source EdTech Metaverse Platform“. <https://github.com/Aca1990/VoRtex-School> (приступљено Окт. 04, 2022).



- [375] „VoRtex Coin Solidity“. <https://github.com/Aca1990/VoRtexCoin/blob/master/VoRtexCoin.sol> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [376] „ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue“. <https://openai.com/blog/chatgpt/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [377] „Upgrading Ethereum to radical new heights“. <https://ethereum.org/en/upgrades/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [378] „Discord Activities: Play Games and Watch Together“. <https://discord.com/blog/server-activities-games-voice-watch-together> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [379] „Moralis Web3“. <https://moralis.io/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [380] „Ankr Web3 gaming“. <https://www.ankr.com/docs/app-chains/use-cases/web3-gaming/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [381] „NVIDIA Instant NeRF“. <https://github.com/bycloudai/instant-ngp-Windows> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [382] „Union Avatars“. <https://unionavatars.com/> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [383] „ScioXR“. <https://github.com/ScioXR/ScioXR> (приступљено Окт. 04, 2022).
- [384] „MOVE Ai“. <https://www.move.ai/> (приступљено Окт. 04, 2022).

## Списак објављених радова аутора

### M22

**Aleksandar Jovanović**, Aleksandar Milosavljević, "VoRtex Metaverse Platform for Gamified Collaborative Learning", *Electronics*, Vol. 11, Issue 3, January 2022, pn. 317, ISSN: 2079-9292, <https://doi.org/10.3390/electronics11030317>.

**IF=2.397 (2020), IF5=2.408 (2020).**

### M52

**Aleksandar Jovanović**, Aleksandar Milosavljević, "VoRtex Enterprise: Decentralized Virtual Reality Blockchain-based Platform", *Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics*, Vol. 18, Issue 1, 2019, pp. 57-77. ISSN: 1820-6417, <https://doi.org/10.22190/FUACR1901057J>.

### M33

**Aleksandar Jovanović**, Aleksandar Milosavljević, "Review of Modern Virtual Reality HMD Devices and Development Tools", *Proceedings on 52nd International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies - ICEST 2017*, Niš, Serbia, June 28-30, 2017.

### M63

**Александар Јовановић**, Александар Милосављевић, "Преглед уређаја и окружења за развој апликације виртуелне стварности", *Зборник радова 61. конференције ЕТРАН*, Кладово, 5-8. јун 2017., ISBN: 978-86-7466-692-0.

## Биографија аутора

Александар Јовановић рођен је 4.12.1990. г. у Нишу. Основну школу завршио је у ОШ Десанка Максимовић у Насељу 9. мај (ниже разреде), и у Чокоту (више разреде). Средњу школу, смер Електротехничар рачунара, завршио је у Нишу. На Електронском факултету у Нишу дипломира је 2013. године на смеру Рачунарство и информатика, са просечном оценом 8,45. Мастер рад под насловом „Развој безбедних видео игара применом *Unity Game Engine* алата“ одбранио је 2014. године на Електронском факултету у Нишу и стекао звање мастер инжењер електротехнике и рачунарства за рачунарство и информатику. Просечна оцена на мастер студијама била му је 9,90 и добио је награду за најбољи мастер рад на смеру „Рачунарство и информатика“. Уписан је на прву годину докторских студија на Електронском факултету школске 2014. године. Други мастер рад под насловом „Развој технолошких *startup* компанија у креативним индустријама“ одбранио је 2017. године на Факултету техничких наука у Новом Саду. Аутор је објавио четири научна рада, од којих „VoRtex Metaverse Platform for Gamified Collaborative Learning“ у часопису са SCI листе. Активно се служи српским и енглеским језицима. Од 2014. до данас ради професионално на развоју софтверских решења из области рачунарског вида, компјутерске графике, пословних решења и ауто-индустрије.

# ИЗЈАВА АУТОРА

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

### **ВИРТУЕЛНО КОЛАБОРАТИВНО ОКРУЖЕЊЕ ЗА УЧЕЊЕ НА ДАЉИНУ ЗАСНОВАНО НА ГЕЈМИФИКАЦИЈИ И БЛОКЧЕЈН ТЕХНОЛОГИЈАМА**

која је одбрањена на Електронском факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио ауторска права, нити злоупотребио интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, \_\_\_\_\_

Потпис аутора дисертације:

---

(Александар М. Јовановић)

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ И ШТАМПАНОГ  
ОБЛИКА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Наслов дисертације:

**ВИРТУЕЛНО КОЛАБОРАТИВНО  
ОКРУЖЕЊЕ ЗА УЧЕЊЕ НА ДАЉИНУ  
ЗАСНОВАНО НА ГЕЈМИФИКАЦИЈИ И  
БЛОКЧЕЈН ТЕХНОЛОГИЈАМА**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предао за уношење у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, истоветан штампаном облику.

У Нишу, \_\_\_\_\_

Потпис аутора дисертације:

---

(Александар М. Јовановић)

## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

# ВИРТУЕЛНО КОЛАБОРАТИВНО ОКРУЖЕЊЕ ЗА УЧЕЊЕ НА ДАЉИНУ ЗАСНОВАНО НА ГЕЈМИФИКАЦИЈИ И БЛОКЧЕЈН ТЕХНОЛОГИЈАМА

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам одлучио.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

У Нишу, \_\_\_\_\_

Потпис аутора дисертације:

\_\_\_\_\_  
(Александар М. Јовановић)