



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Vairavimo dviračiu mokymas virtualioje realybėje

Baigiamasis magistro studijų projektas

Edvardas Ivaškevičius

Projekto autorius

Assoc. Prof. Dr. Tomas Blažauskas

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Baigiamojo projekto pavadinimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Magistro baigiamasis darbas (T000M038)

Edvardas Ivaškevičius

Projekto autorius

Assoc. Prof. Dr. Tomas Blažauskas

Vadovas

Doc. Šarūnas Pakevičius

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Edvardas Ivaškevičius

Vairavimo dviračiu mokymas virtualioje realybėje

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autorius ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Edvardas Ivaškevičius

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Vairavimo dviračiu mokymas virtualioje realybėje

Reikalavimai ir sąlygos

Tikslas – Išanalizuoti rinkoje esančius virtualiosios realybės įrenginius bei turinio kūrimo technologijas ir sukurti virtualiosios realybės sistemą, skirtą mokytis vairuoti dviračiu gatvėje ir iširti panaudojimo galimybes.

Visas darbas susideda iš šių tikslų:

1. Išanalizuoti rinkoje esančius sprendimus, skirtus mokytis vairuoti.
2. Išanalizuoti rinkoje esančias virtualiosios realybės įrangas.
3. Pasirinkti tinkamas technologijas kuriamos sistemos sprendimui įgyvendinti.
4. Pasiūlyti sistemą, kuri leistų modeliuoti kelių eismo situacijas bei testuoti vairuotojus.
5. Sukurti sistemą, kuri leistų vartotojui mokytis vairuoti dviračių virtualiojoje realybėje.
6. Eksperimentiniais tyrimais įvertinti sistemos panaudojimą vairavimo mokymuisi.
7. Iširti sukurtos sistemos kokybę.

Vadovas

Assoc. Prof. Dr. Tomas Blažauskas

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Ivaškevičius, Edvardas. Vairavimo dviračiu mokymas virtualioje realybėje. Magistro studijų krypties baigiamasis projektas / vadovas assoc. prof. dr. Tomas Blažauskas; Kauno technologijos universitetas, Informatikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Informatikos mokslai, Informatika.

Reikšminiai žodžiai: Mokymas, dviratis, virtualioji realybė, žaidimas.

Kaunas, 2022. 67p.

Santrauka

Šiame Magistro darbe pristatomas mokomasis virtualiosios realybės žaidimas, sukurtas naudojant „Unity3D“ žaidimų variklį. Šis mokomasis žaidimas leidžia išmokti ir patirti vairavimą dviračiu virtualiame pasaulyje, kuriame vartotojas privalo laikytis kelių eismo taisyklių, žaidime taip pat viktorina, kurioje vartotojas gali pamatyti realią eismo situaciją ir atsakyti į viktorinos klausimus virtualiai būdamas jose. Darbe yra analizuojamas virtualiosios realybės poveikis sveikatai, virtualiosios realybės įrenginiai bei turinio kūrimo įrankiai.

Atsižvelgiant į analizės rezultatus, pateikiamas detalus sistemos architektūrinis sprendimas, pagal kurį buvo sukurta sistema skirta mokytis vairuoti dviratį virtualiojoje realybėje. Naudojant sukurtą programinę įrangą buvo atlikti eksperimentai, kurių pagalba buvo įvertinta sistemos kokybė, vartotojų įsitraukimas į virtualiąją realybę bei sistemos greitaveika.

Ivaškevičius, Edvardas. Training to drive with bicycle in virtual reality. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr., Tomas Blažauskas; The faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Computer Science, Software Engineering.

Keywords: Training, bicycle, virtual reality, game.

Kaunas, 2022. 67p.

Summary

This Master's thesis presents an educational virtual reality game created using the Unity3D game engine. This educational game allows you to learn and experience cycling in a virtual world where the user must follow traffic rules, the game also includes a quiz where user can see the real traffic situation and answer the quiz questions while being virtually in them. The paper analyzes the impact of virtual reality on health, virtual reality devices and content creation tools. The research of the existing solutions and the analysis of the competitors were performed.

Based on the results of the analysis, a detailed system architectural solution is presented, according to which a system for learning to ride a bike in virtual reality was developed. Experiments were performed using the developed software to assess the quality of the system, user involvement in virtual reality, and system performance.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Analizė	14
1.1. Poreikis	14
1.1.1. Projekto vartotojai ir klientai	14
1.1.2. Vartotojo problemos	14
1.1.3. Rinkos tyrimas.....	14
1.1.4. Informacija apie klientus	14
1.2. Konkurencija ir alternatyvos	14
1.3. Metodai ir technologijos.....	15
1.4. Virtualios realybės poveikio sveikatai reikalavimai.....	15
1.5. Pritaikymo tyrimas	16
1.6. Žaidimų variklių savybių apžvalga	17
1.6.1. „Unity“	17
1.6.2. „Unreal Engine“	17
1.6.3. „Godot Engine“	18
1.7. Virtualios realybės atvaizdavimo įrenginiai	18
1.7.1. „Oculus Quest“	19
1.7.2. HTC Vive	19
1.7.3. „Valve Index“.....	20
1.7.4. „HP Reverb G2“	20
1.8. VR įrenginių palyginimas.....	22
1.9. Egzistuojantys sprendimai.....	23
1.9.1. „City Car Driving“ VR.....	23
1.9.2. „ECA Group EF-CAR Motion“	23
1.9.3. „SILAB“	24
1.9.4. Virtualios realybės treniruotės dviračiu asistentas	25
1.10. Analizės išvados	26
2. Projektinė dalis	27
2.1. Architektūros pateikimas.....	27
2.2. Architektūros tikslai ir apribojimai	27
2.3. Panaudojimo atvejų vaizdas	28
2.4. Sistemos statinis vaizdas	31
2.4.1. Apžvalga.....	31
2.4.2. Paketų detalizavimas	32
2.5. Išdėstymo (<i>deployment</i>) vaizdas.....	39
3. Eksperimentiniai tyrimai.....	40
3.1.1. Atlikto darbo kokybės analizės tikslai.....	41
3.1.2. Sistemos prižiūrimumo tyrimas.....	42
3.2. Sukurtos mokymosi priemonės įvertinimas	48
3.2.1. „WBLT“ mokymosi kategorija	48
3.2.2. WBLT dizaino kategorija.....	51

3.2.3. „WBLT“ įtraukimo kategorija.....	53
3.2.4. „WBLT“ tyrimo rezultatų apibendrinimas.....	55
3.3. Vartotojo įsitraukimo į virtualiąją realybę tyrimas	56
3.4. Greitaveikos tyrimas.....	57
4. Rezultatai ir išvados	60
5. Literatūros sąrašas	61
Priedai.....	63

Lentelių sąrašas

1 lentelė Konkurentų palyginimas	15
2 lentelė Judėti su dviračiu panaudojimo atvejis.....	29
3 lentelė Peržiūrėti padarytas klaidas panaudojimo atvejis	29
4 lentelė Rodyti signalus panaudojimo atvejis.....	29
5 lentelė Pasirinkti testavimo trasą panaudojimo atvejis	29
6 lentelė Parengti testavimo trasą panaudojimo atvejis	29
7 lentelė Sukurti vartotojo paskyrą panaudojimo atvejis	30
8 lentelė Prisijungti prie sistemos panaudojimo atvejis	30
9 lentelė „WBLT“ rezultatų vertinimo lentelė	55
10 lentelė Gauti „IPQ“ rezultatų vidurkiai.....	56
11 lentelė Greitaveikos eksperimento rezultatai	58

Paveikslų sąrašas

1 pav. Skirtingos aplinkos, kurios buvo tiriamos [10]	17
2 pav. VR turinio bei įrangos suderinamumo lentelė [15]	18
3 pav. „Oculus Quest“ [17].....	19
4 pav. „HTC Vive“ [18].....	19
5 pav. „Valve Index“ [19].....	20
6 pav. „HP Reverb G2“ [20]	21
7 pav. VR įrenginių palyginimas [21].....	22
8 pav. „City Car Driving“ VR „Protingo eismo“ realizacija	23
9 pav. „ECA Group EF-CAR Motion“ vairavimo įranga [4]	24
10 pav. „SILAB“ vairavimo simulatorius	25
11 pav. Virtualios realybės treniruotės dviračiu asistentas [24]	26
12 pav. Kuriamos sistemos PA	28
13 pav. Paketų diegimo diagrama	31
14 pav. Vartotojo sąsajos posistemė	32
15 pav. Eismo valdymo posistemė.....	33
16 pav. Informacijos saugojimo posistemė.....	34
17 pav. Vartotojo posistemė.....	35
18 pav. Klaidų atpažinimo ir valdymo posistemė.....	36
19 pav. „Object Pooling“ posistemė	37
20 pav. Žaidimo valdymo posistemė	38
25 pav. Deployment diagrama	39
22 pav. Apklausoje dalyvavusių respondentų amžius.....	40
23 pav. Apklausoje dalyvavusių respondentų VR naudojimo dažnumas	41
24 pav. CodeScene įrankio įvertinimas.....	42
25 pav. Prasčiausi klasių įvertinimai.....	43
26 pav. Labiausiai pertvarkymo reikalaujančios klasės	44
27 pav. Bendras sistemos vaizdas	45
28 pav. „McCabe“ Ciklomatinio sudėtingumo vertinimo lentelė.....	46
29 pav. <i>LevelEditor</i> klasės rentgenogramos rezultatai	46
30 pav. <i>SmartCar</i> klasės rentgenogramos rezultatai	47
31 pav. <i>MistakesManager</i> klasės rentgenogramos rezultatai.....	47
32 pav. („WBLT“, Mokymasis) 1 klausimas.....	48
33 pav. („WBLT“, Mokymasis) 2 klausimas.....	49
34 pav. („WBLT“, Mokymasis) 3 klausimas.....	49
35 pav. („WBLT“, Mokymasis) 4 klausimas.....	50
36 pav. („WBLT“, Mokymasis) 5 klausimas.....	50
37 pav. („WBLT“, Dizainas) 1 klausimas	51
38 pav. („WBLT“, Dizainas) 2 klausimas	51
39 pav. („WBLT“, Dizainas) 3 klausimas	52
40 pav. („WBLT“, Dizainas) 4 klausimas	52
41 pav. („WBLT“, Įtraukimas) 1 klausimas	53
42 pav. („WBLT“, Įtraukimas) 2 klausimas	53
43 pav. („WBLT“, Įtraukimas) 3 klausimas	54
44 pav. („WBLT“, Įtraukimas) 4 klausimas	54

41 pav. „WBLT“ apklausos rezultatai	55
46 pav. „igroup“ klausimyno rezultatai	56
47 pav. „igroup“ klausimyno rezultatai (radaro diagrama).....	57
48 pav. Kadru per sekundę (FPS) priklausomybės nuo objektų kiekio scenoje grafikas	58
49 pav. Kadru trukmės priklausomybė nuo objektų kiekio scenoje grafikas	58
50 pav. Kadru kiekio priklausomybė nuo objektų kiekio scenoje radaro grafikas	59

Santrumpų ir terminų sąrašas

VR – Virtuali realybė

C++ – programavimo kalba

Fps (ang. *Frames per second*) – kadrai per sekundę

Veloergometras – prietaisas žmogaus fiziniam pajėgumui matuoti, dozuotai mankštai daryti ir kt. Jį sudaro pedalai velenui sukuti, stabdžiai, dozėmis keičiantys fizinę apkrovą

Dviratis – Priemonė/aparatas, kuris yra naudojamas imituoti tikrą dviratį

PC – Asmeninis kompiuteris, naudojamas darbui su aplikacija

Windows 10 – Operacinė sistema, kuri bus įdiegta asmeniniame kompiuteryje bei ant kurios bus paliežiama virtualios realybės aplikacija

„Unity Game Engine“ – Žaidimų variklis, kurio pagalba bus realizuojama virtualios realybės aplikacija

C# – Objektiškai orientuota programavimo kalba, kuri bus naudojama kartu su „Unity Game „Engine“ realizuojant virtualios aplikacijos funkcionalumus

„SteamVR“ – Biblioteka, skirta virtualios realybės aplikacijų kūrimui palengvinti. Ji bus naudojama kartu su „Unity Game Engine“, realizuojant aparatūrinės ir programinės įrangos sąveikai

„MagicDraw“ – Įrankis, skirtas projekto projektavimo darbams atlikti

„Blender „– 3D modeliavimo įrankis, kuris bus naudojamas 3D modeliams kurti

„PhotoShop“– Rastrinės grafikos rengyklė, kuri bus naudojama aplikacijos UI dizainui sukurti

3D – Trimatė erdvė

UI – Vartotojo sąsaja

Žaidimo laukas ("Play Area") – Vartotojo nustatytos ribos, kuriose yra saugu naudotis VR.

„Steam Store“ – Žaidimų bei programinės įrangos platinimo sistema

UML – modeliavimo ir specifikacijų kūrimo kalba

PA – panaudojimo atvejai

OS – Operacinė sistema

RAM – kompiuterio operatyvioji atmintis

GPU – grafinis procesorius

CPU – centrinis procesorius

Įvadas

Mokymasis vairuoti yra procesas, kuriam reikia daug laiko bei pastangų. Žmonės lanko vairavimo mokyklas kurios turi išmokyti juos visų teorinių žinių, kelio ženklų bei aptarti įvairias nenuspėjamas situacijas, kurioms mokantis teoriškai, labai sunku pasiruošti praktiškai, kadangi ne viską galima atkartoti realiame gyvenime. Kai kurios situacijos, pavyzdžiui, pėsčiojo ėjimas gatve ir staigus parkritimas, įvairios spūstys bei panašios situacijos gali sukelti begalę streso naujai pradedančiam vairuoti. Neįmanoma išmokyti visko vairavimo mokyklose, daug dalykų bei sprendimų į nenumatytas situacijas ateina su patirtimi. Dauguma eismo įvykių atsitinka dėl vairuotojų aplaidumo, nepatyrimo, pernelyg didelio pasitikėjimo savimi, nesugebėjimo reaguoti į eismą bei per didelio greičio [1].

Taip pat atsižvelgiant į nenuspėjamus įvykius pasaulyje, tokius kaip pandemija COVID-19, dauguma žmonių laikinai praranda galimybę mokytis vairavimo, dėl apribojimų baigiasi teorinių testų galiojimas, dauguma vairavimo mokyklų laikinai pristabdo savo veiklą, taip priversdamos būsimus vairuotojus atidėti savo planus. Dėl to gali nukentėti kai kurių žmonių verslas ar darbo perspektyvos. Todėl yra labai svarbu plėsti vairavimo prieinamumą užtikrinant saugų, greitą ir patogų būdą mokytis vairavimo įvairaus amžiaus žmonėms net ir kai fiziškai dalyvavimas pamokose yra negalimas.

Siekiant užtikrinti pačio vairuotojo ir jį supančių dalyvių saugumą, galima naudoti virtualiosios realybės simuliacijas, kurios padėtų pasiekti pilno vairuotojų pasirengimo. Naudojant virtualiąją realybę galima nesudėtingai imituoti daugelį įvairių, realiame gyvenime praktiškai neįmanomų, situacijų.

Tikslas – Išanalizuoti rinkoje esančius virtualiosios realybės įrenginius bei turinio kūrimo technologijas ir sukurti virtualiosios realybės sistemą, skirtą mokytis vairuoti dviračiu gatvėje ir iširti panaudojimo galimybes.

Visas darbas susideda iš šių tikslų:

1. Išanalizuoti rinkoje esančius sprendimus, skirtus mokytis vairuoti.
2. Išanalizuoti rinkoje esančias virtualiosios realybės įrangas.
1. Pasirinkti tinkamas technologijas kuriamos sistemos sprendimui.
2. Pasiūlyti sistemą, kuri leistų modeliuoti kelių eismo situacijas bei testuoti vairuotojus.
3. Sukurti sistemą, kuri leistų vartotojui mokytis vairuoti dviratį virtualiojoje realybėje.
4. Eksperimentiniais tyrimais įvertinti sistemos panaudojimą vairavimo mokymuisi bei kokybę.

Įgyvendinus šiuos užsibrėžtus tikslus kaip šio darbo rezultatą turėsime sukurtą virtualios realybės sistemą skirtą mokymuisi važiuoti dviračiu. Ši sistema, virtualios realybės pagalba, imituos vairavimo dviračiu gatvėje važiavimą, leis vartotojui greitai ir nesudėtingai įgauti reikiamų įgūdžių, kurių reikia saugiai važiuojant gatve. Taip pat daug dėmesio bus skiriama naudojant gerąsias praktikas kuriant virtualiosios realybės aplikacijas, kurios leistų panaikinti arba sumažinti virtualiosios realybės poveikį vartotojo sveikatai.

1. Analizė

1.1. Poreikis

1.1.1. Projekto vartotojai ir klientai

Pagrindiniai kuriamos sistemos vartotojai yra jauni žmonės, norintys linksmai ir naudingai praleisti laisvalaikį, arba išmokti ir įgauti patirties važiuojant dviračiu gatvėje. Taip pat sistemos vartotojai gali būti žmonės, norintys sužaidybintai išmokti kelių eismo taisyklių

1.1.2. Vartotojo problemos

Šiandienos jauni žmonės, kurie neturi teisių, neretai kaip transporto priemonę renkasi dviratį. Dauguma jų neturi teisių, dėl to ne visi žino kaip reikia elgtis gatvėje, ne visi moka eismo ženklus bei specifines taisykles, skirtas dviračiui gatvėje eksploatuoti. Dėl žinių stokos jauni dviratininkai gali sudaryti pavojingas eismo situacijas, per kurias gali nukentėti ne tik jie, bet ir kiti eismo dalyviai.

Nors mokymo vairuoti sistemų yra sukurta, nėra nei vienos sistemos, leidžiančios išmokti dviračio vairavimo ypatumų, visos sistemos orientuojasi į automobilių vairuotojus

1.1.3. Rinkos tyrimas

Virtualiosios realybės vartotojų skaičius 2020m. siekė net 52,1 milijono vartotojų vien Jungtinėse Amerikos Valstijose. Taip pat dėl pasaulyje plintančio COVID-19 viruso šie skaičiais smarkiai kilo ne tik JAV, bet ir visame pasaulyje, kas sudarė labai didelį potencialių vartotojų skaičių [2].

Šiuo metu dviračio vairavimo virtualioje realybėje mokymo sistemų nėra, tačiau yra panašaus pobūdžio sprendimų. Tokia sistema kaip „City Car Driving VR“ [3], turi tarp 500 tūkstančių ir 1 milijono vartotojų ir yra vienintelė laisvai prieinama sistema, leidžianti vartotojams namų sąlygomis mokytis vairuoti automobilį. Kadangi laisvai prieinamų sprendimų beveik nėra, tai rodo puikias verslo galimybes bei poreikį tokio tipo sistemoms.

Taip pat, rinkoje yra lengvai neprieinamų sprendimų, tokių kaip „ECA Group EF-CAR Motion“ [4] arba „SILAB“ [5], kurios naudoja specialias bei brangias priemones mokymo vairuoti tikslui pasiekti

1.1.4. Informacija apie klientus

Potencialūs klientai yra tiek vairavimo mokymo mokyklos, siekiančios praplėsti savo mokymo sferą, taip pat potencialūs klientai yra ir patys vartotojai, kadangi kuriama sistema gali būti platinama internetinėje žaidimų parduotuvėje „Steam“. Dėl didelio sistemos platinimo pasirinkimo, sistemos klientų galimybės yra labai plačios

1.2. Konkurencija ir alternatyvos

Rinkoje produktų, kurie leistų mokytis vairuoti dviratį gatvėje, nebuvo rasta. Tačiau buvo rastos kelios panašaus pobūdžio sistemos. Kelios iš jų orientuojasi į mokymą vairuoti automobilius, o kitos orientuojasi į sveikatos gerinimą važiuojant dviračiu.

Panašių sistemų analizė matoma 1 lentelėje

1 lentelė Konkurentų palyginimas

Produktas	Mašinos vairavimas	Dviračio vairavimas	VR aplinka	Naudojamos realios taisyklės	Egzaminavimo režimas	Orientavimas į edukaciją
„City Car Driving VR“	+	-	+	+	-	+
„ECA Group Driving Simulators“	+	-	-	+	+	+
„SILAB“	+	-	-	+	+	+
„Samsung VRRIDE“	-	+	+	-	-	-
Siūlomas sprendimas	-	+	+	+	+	+

Atlikus lyginamąją analizę galime pastebėti, jog nėra nei vienos sistemos, kuri leistų mokytis vairuoti dviračiu gatvėje, visos analizuotos sistemos fokusuojasi į automobilių vairuotojus. Vienintelė panašaus pobūdžio sistema yra „IronCat“ kompanijos „Samsung VRRIDE“ [6], kuri leidžia vartotojui vairuoti dviračių, tačiau sprendimas nėra skirtas edukaciniam pobūdžiui.

1.3. Metodai ir technologijos

Siekiant sukurti aplikaciją skirtą virtualiai realybei yra daug įvairių sprendimų pradedant nuo galingų žaidimų variklių iki programinės įrangos kūrimo karkasų. Visi įrankiai skirti VR aplikacijų kūrimui yra ganėtinai skirtingi, skiriasi savo grafinėmis galimybėmis, programavimo kalbomis bei populiarumu.

1.4. Virtualios realybės poveikio sveikatai reikalavimai

Virtuali realybė lėtai, tačiau ir ne itin užtikrintai, tampa vis labiau naudojama. Virtualios realybės turinys paprastai yra skirstomas į 3 pagrindines kategorijas – 3D sugeneruotas vaizdas, kuris yra sukuriamas naudojantis 3D modeliavimo įrankiais, nuotraukų pagalba išgautas vaizdas, kuris perteikia realius tikrovės objektus, bei junginys tar šių dviejų.

Virtualios realybės aplikacijoms yra keliami ypač griežti reikalavimai, kadangi bet koks nenumatytas trūkumas toksai kaip netinkamas kadrų per sekundę greitis, netinkamai pritaikytas vartotojo judėjimo, virtualiojoje realybėje, greitis, netinkamas kameros valdymas bei daugelis kitų, gali sukelti nemalonų poveikį vartotojo sveikatai arba dar kitaip vadinamą simuliacijos ligą. Didžioji dauguma nemalonių poveikių sveikatai atsiranda dėl to, kad vartotojas realiame pasaulyje visiškai kontroliuoja kaip jie juda bei suvokia juos supantį pasaulį, tačiau virtualioje realybėje vartotojas praranda dalį šios kontrolės nes jų judesiai bei juos supančio pasaulio suvokimas nesutampa

„Virtual & Augmented Reality For Dummies“ knygos autorius bei „Oculus“ kompanijos leidinys „Oculus Best Practices“ pateikia sąrašą geriausių virtualiosios realybės aplikacijų kūrimo praktiku sąrašą [7] [8]:

- **Išlaikyti programos kadrų greitį.** - Šešiasdešimt kadrų per sekundę (*FPS*) paprastai laikomas mažiausiu kadrų dažniu, per kurį turėtų veikti VR programos, kad būtų išvengta simulatoriaus ligos vartotojams. Šio kadrų dažnio išlaikymas yra tikriausiai svarbiausias patarimas, kurio reikia laikytis, net jei tai reiškia, kad reikia iškirpti kitas programos dalis.
- **Palaikyti nuolatinį galvos sekimą.** - Galvos sekimas VR reiškia, kad programa nuolat seka vartotojo galvos judesį ir kad šie judesiai atspindėtų save virtualioje aplinkoje. Norint išvengti simulatoriaus ligos, gyvybiškai svarbu suderinti savo programos virtualią padėtį su realaus vartotojo galvos judesiais. Net nedidelė pauzė stebint vartotojo judesius gali sukelti judesio ligą.
- **Pagreičio vengimas.** - Realiame pasaulyje vartotojo kūnas pastebi pagreitį kur kas labiau nei judėjimą pastoviu greičiu. Nedideli judėjimo greičiai dažniausiai nesukelia jokių nemalonių jausmų, tačiau didelis nenumatytas pagreitis gali sukelti stiprų poveikį, kurio pasėkoje atsiranda nemalonius sveikatos poveikis.
- **Fiksuotų vaizdo elementų vengimas** – Bet kokia grafika, pritvirtinta prie vartotojo požiūrio kameros, gali sukelti pykinimo jausmą.
- **Ryškios spalvos ir aplinka** – Kaip ir realiame gyvenime, staigus aplinkos pasikeitimas ar spalvų pakitimas iš ryškių į mažiau ryškias, gali sukelti akių skausmą, ko pasėkoje gali atsirasti galvos skausmas.
- **Didelio matymo lauko palaikymas** – Kai kuriems vartotojams nemalonių pojūčius gali sukelti matymo lauko apribojimai, paprastai žmogaus matymo laukas yra 200-220 laipsnių [9], tad panašų matymo lauką reikėtų naudoti ir virtualios realybės aplikacijose norint išvengti blogų pojūčių bei dar labiau panardinti vartotoją į virtualią aplinką

1.5. Pritaikymo tyrimas

Siekiant užtikrinti kuriamos sistemos malonumą ja naudotis reikia atsižvelgti į tai, kaip žmogus matys ir jausis važiuodamas dviračiu. Mokslininkai iš „Future Cities Laboratory“ atliko tyrimą [10], kurio metu buvo atliekami eksperimentai tiriantys dviratininkų elgseną bei pageidavimus skirtingose aplinkose



1 pav. Skirtingos aplinkos, kurios buvo tiriamos [10]

Po tyrimo buvo nustatyta, jog dviratininkai, VR aplinkoje, nesunkiai atpažįsta skirtingus greičius iki 20km/h. bei juostų pločius iki 60 centimetrų. Važiuodami dviračiu virtualioje realybėje, dalyviai renkasi greitį atsižvelgdami į infrastruktūros tipą, greičiau važiuodami atskiru dviračių taku ir lėčiau važiuodami pėsčiųjų taku. Prieš sankryžą jie nuolat pasuko galvą, kad patikrintų artėjantį eismą. Eksperimento rezultatai rodo, kad arti transporto priemonių eismo ir pėsčiųjų yra pagrindiniai veiksniai, darantys įtaką saugumo suvokimui važiuojant dviračiais pėsčiųjų taku ar keliu [10].

1.6. Žaidimų variklių savybių apžvalga

1.6.1. „Unity“

Tai vienas iš populiariausių rinkoje esančių žaidimų variklių, kuris leidžia kurti aukštos kokybės vaizdo žaidimus. „Unity“ žaidimų variklis taip pat turi iškarto integruotą paketą („Unity XR“), kuris leidžia kurti virtualios realybės, papildytosios realybės bei mišriosios realybės aplikacijas. Šis „Unity“ paketas suteikia programinės įrangos kūrėjams lengvą ir patogų būdą greitai realizuoti VR aplikaciją. Taip pat „Unity“ turi papildinį „SteamVR“, kuris turi jau iš anksto realizuotą VR vartotojo valdymą bei begalę integruotų funkcionalumų. „Unity“ žaidimų variklyje galima programuoti C# bei JavaScript kalbomis [11].

1.6.2. „Unreal Engine“

Tai dar vienas iš populiariausių rinkos žaidimų variklių, šis įrankis taip pat siūlo greitus ir patogius sprendimus kuriant virtualios, papildytos bei mišriosios realybės žaidimus. „Unreal“ žaidimų variklis išsiskiria savo nepriekaištingu grafiniu pajėgumu, kurio pagalba galima kurti grafiškai reiklias aplikacijas, taip sukuriant nuostabų virtualios realybės aplinką. „Unreal“ variklyje programavimui yra naudojama galinga C++ programavimo kalba, kuri suteikia programinės įrangos kūrėjams galimybę optimizuoti kuriamą sistemą, kas yra labai svarbu kuriant VR aplikacijas. Taip pat „Unreal“ variklyje aplikacijas galima kurti naudojant „Blueprints Visual Scripting“ sistemą, kuri leidžia kurti aplikacijas nenaudojant programavimo [12] [13].

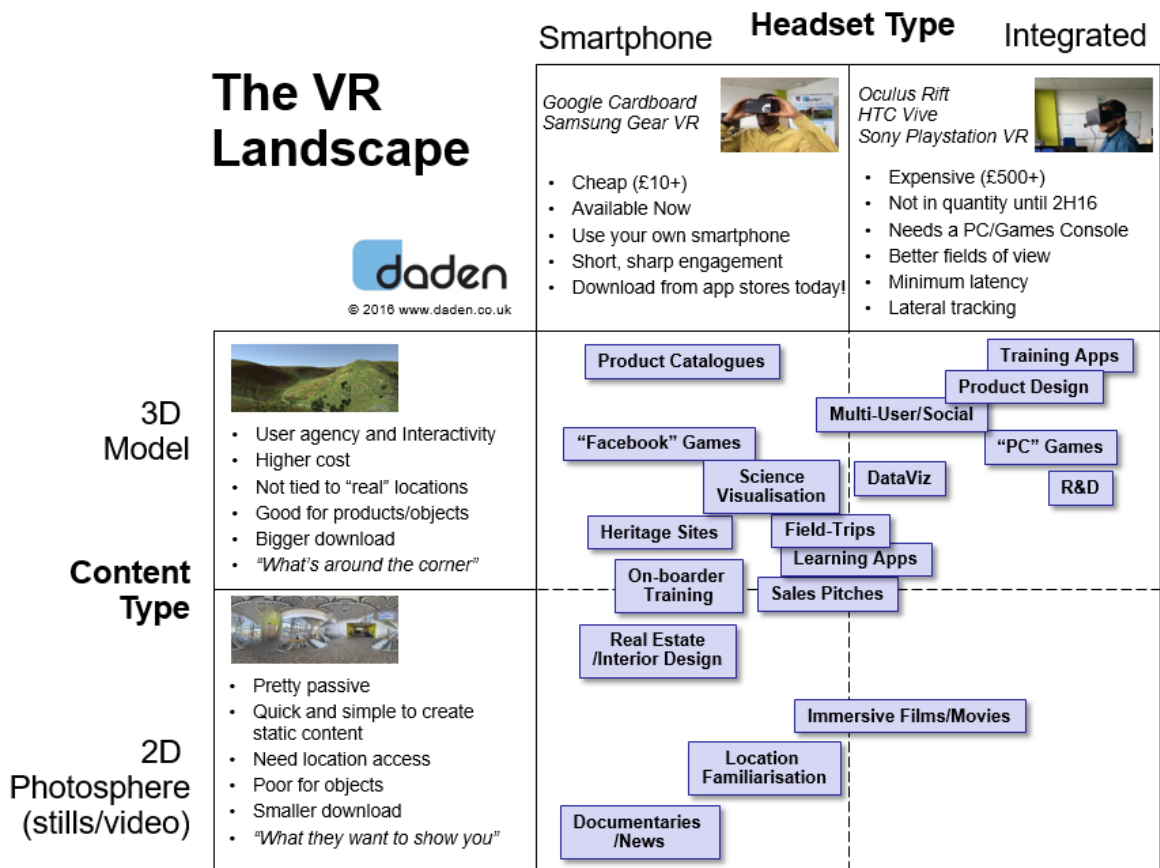
1.6.3. „Godot Engine“

Šis žaidimų variklis yra taip pat labai populiarus rinkoje bei leidžiantis kurti virtualios realybės aplikacijas, Godot variklis naudoja „OpenVR“ programinės įrangos kūrimo rinkinį, kuris suteikia galimybę kurti VR sprendimus ant populiariausių rinkoje esančių VR įrenginių. Godot variklis turi labai didelį pasirinkimą programavimo kalbų, kas leidžia be jokių papildomų apmokymų pereiti prie programinės įrangos kūrimo [14].

1.7. Virtualios realybės atvaizdavimo įrenginiai

VR įrenginių yra labai gausu, tad pasirinkimas gali būti sudėtingas, vieni įrenginiai yra labai galingi, gebantys tiksliai atlikti vartotojo padėties sekimą bei auštos kokybės turinio perteikimą, kiti turi limituotus resursus.

Pagal (2 pav. lentelę) galime matyti, jog išmaniųjų įrenginių tipo VR turinį sudaro labiau paprastesnio pobūdžio turinys, kadangi mobiliųjų įrenginių techninės galimybės yra ganėtinai limituojančios. Tačiau integruotos virtualios realybės įrenginiai, turintys kur kas galingesnius resursus, o kai kurie naudojantys ir pačio kompiuterio resursus, leidžia apdoroti itin daug resursų reikalaujantį turinį [15].



2 pav. VR turinio bei įrangos suderinamumo lentelė [15]

1.7.1. „Oculus Quest“

Tai vienas iš prieinamiausių VR įrenginių pagamintas „Facebook“ kompanijos, suteikiantis galimybę nevaržomai perkelti vartotoją į virtualios realybės pasaulį. „Oculus Quest“ pasižymi tuo, jog yra labai mobilus, kadangi naudojamos belaidės technologijos, dėl to yra labai patogus, tačiau mobilumas ateina su savo kaina, „Oculus Quest“ naudojamas mobilus procesorius yra ganėtinai limituojantis, dėl to labai daug resursų reikalaujančioms aplikacijoms nėra tinkamas [16] [17].



3 pav. „Oculus Quest“ [17].

1.7.2. HTC Vive

Ši virtualios realybės įranga, pagaminta „HTC“ kompanijos, yra viena iš populiariausių rinkoje, pasižyminti aukšto raiško ekranu bei dideliu reguliuojamu matymo lauku. „HTC Vive“ naudoja kompiuterio resursus, tad daug resursų reikalaujančios aplikacijos nėra problematiškos [16] [18].



4 pav. „HTC Vive“ [18]

1.7.3. „Valve Index“

„Valve index“ yra „Valve“ kompanijos virtualios realybės įrangos sprendimas, kuris išskirtinis savo ypač aukšto raiškos ekranu bei 144Hz dažniu. „Valve Index“ taip pat naudoja kompiuterio išteklius, tad grafiškai reikalaujančios aplikacijos nėra problema. „Valve index“ taip pat turi vieną iš naujausių VR periferinių įrenginių „Valve Index Knuckles“, kurie suteikia galimybę naudoti ne tik mygtukus esančius ant valdiklio, tačiau leidžia naudoti ir visus 5 rankos pirštus, kas atveria plačias virtualios realybės aplikacijų valdymo galimybes [16] [19].



5 pav. „Valve Index“ [19]

1.7.4. „HP Reverb G2“

„HP Reverb G2“ yra naujos kartos „HP Virtual Reality HDM“ sukurtas bendradarbiaujant su „Valve“ ir Microsoft kompanijomis, suteikiantis įtraukiančią ir patogią VR patirtį.

„HP Reverb G2“, aprūpintas rinkoje pirmaujančiais objektyvais bei „Valve“ suprojektuotais garsiakalbiais, suteikia aukštos kokybės skiriamąją gebą ir visiškai įtraukiantį erdvinį garsą. Sistema pasižymi 4 įmontuotomis kameromis, kurios leidžia itin ekstremalių judesių sekimą, nenaudojant bazinių stočių



6 pav. „HP Reverb G2“ [20]

1.8. VR įrenginių palyginimas

Visi šie aukščiau paminėti VR įrenginiai yra ganėtinai skirtingi tiek technologiniais tiek kainos aspektais. Kaip galime matyti 7 pav. „Starting price“, kainų skirtumai tikrai didžiuliai, pigiausias rinkoje esantis VR įrenginys yra „Oculus Quest“, o brangiausias „Valve Index“. Visų įrenginių raiškos taip pat labai skiriasi, čia labiausiai pirmauja „HP Reverb G2“ su itin aukštos raiškos ekranu (2160 x 2160). Ekranu atnaujinimo dažnis yra labai svarbus siekiant užtikrinti malonų naudojimąsi VR sistema, tad visi įrenginiai pasižymi ganėtinai aukštais parametrais, tačiau „Valve Index“ pranoksta visus įrenginius.

Taip pat galime matyti aiškų skirtumą tarp „Oculus“ bei kitų VR įrenginių. Kaip matome pateiktoje lentelėje, „Oculus“ įrenginiai naudoja savo resursus, t.y jų pajėgumas siekai tik tiek, kiek gali juose integruoti procesoriai bei operatyvioji atmintis. Kiti lentelėje esantys įrenginiai naudoja kompiuterio turimus resursus, kas ypač praplečia jų galimybes [21].

DEVICE	OCULUS QUEST 2	OCULUS QUEST	VALVE INDEX	HTC VIVE COSMOS	HP REVERB G2
Starting Price	\$299	\$399	\$999	\$699	\$599
Pixels per Eye	1832 x 1920	1440 x 1600	1440 x 1600	1440 x 1700	2160 x 2160
Screen Refresh Rate	72Hz at launch, 90Hz to come	72Hz	80Hz to 144Hz	90Hz	90Hz
Weight	503 grams	571 grams	809 grams	645 grams	550 grams
Tracking	Internal cameras	Internal cameras	External StreamVR towers	Internal cameras (SteamVR with upgrade)	Internal cameras
Battery Capacity	Two to three hours	Two to three hours	N/A	N/A	N/A
Processor	Qualcomm Snapdragon XR2	Qualcomm Snapdragon 835	N/A	N/A	N/A
RAM	6GB	4GB	N/A	N/A	N/A
Storage	64GB or 256GB	64GB or 256GB	N/A	N/A	N/A
Color	White	Black	Black	Turquoise	Black
Facebook Required?	Yes	No	No	No	No
Controller Charging	AA batteries (2)	AA batteries (2)	Rechargeable	AA batteries (4)	AA batteries (4)

7 pav. VR įrenginių palyginimas [21]

1.9. Egzistuojantys sprendimai

Virtualioji realybė, arba „VR“ – 3D virtuali (dirbtinė) aplinka, kuri yra sukuriama naudojant programinę ir techninę įrangą[22]. Ši technologija jau senokai nebėra laikoma nauja, tačiau jai skirtų programinės įrangos sprendimų nėra gausu, dauguma programinės įrangos kūrėjų vis dar abejoja dėl jos aktualumo bei perspektyvumo. Dėl šios priežasties virtualioji realybė nėra plačiai naudojama, dauguma egzistuojančių programinės įrangos sprendimų yra prototipo tipo.

Šiuo metu vairavimui dviračiu mokytį virtualiojoje realybėje sistemų nėra, tačiau yra keletas panašaus pobūdžio sprendimų, skirtų mokymui važiuoti automobiliu.

1.9.1. „City Car Driving“ VR

Šis sprendimas yra realistiškas vairavimo simulatorius, kuris leidžia vartotojui įgyti pagrindinius vairavimo automobiliu (B, B1 bei C1 kategorijų) įgūdžius įvairiomis kelio sąlygomis, nukeliant į virtualios realybės aplinką.

Sistema turi realizuotą „Sumanųjį eismą“, kuris tiksliai imituoja eismą suteikdamas pėstiesiems nenuspėjamumo, sukeltis staigių pavojingų situacijų, kurios puikiai padeda ugdyti tam tikrus įgūdžius, praverčiančius realiame gyvenime. Sistema imituoja dinamines oro sąlygas (žiūrėti 8 pav.), tokias kaip stiprus lietus, pūga, rūkas, taip pat dienos ir nakties imitavimas. Visa tai imituoja realias nepalankias sąlygas, su kuriomis susiduria kiekvienas vairuotojas realiame kelyje. Taip pat šis simulatorius priverčia vairuotoją nuolatose sekti kuro sąnaudas, dėl kurių neretai gali susidaryti įvairių nenuspėjamų sąlygų [23].



8 pav. „City Car Driving“ VR „Protingo eismo“ realizacija

1.9.2. „ECA Group EF-CAR Motion“

Šis „ECA group“ sprendimas nenaudoja virtualiosios realybės, vietoj jos yra naudojama speciali įranga, kuri susideda iš 3 monitorių, vairo, greičio bei stabdžio pedalų ir pavarų perjungimo svirtelės, taip pat visko, ką mato vairuotojas sėdėdamas už realaus automobilio vairo (žiūrėti 9 pav.). Šis sprendimas pasižymi tuo, jog vairuotojas gali realiai naudoti greičio ir stabdžio pedalus, gali perjunginėti bėgius.

Sistema turi realizuotą tikrovišką eismą bei nenuspėjamas situacijas. Taip yra galimybė pasirinkti norimą mokymosi trasą, kuri imituotų realią, kurioje vairuotojas turi atlikti tam tikrus veiksmus. Taip yra imituojamas vairavimo egzaminas [4].



9 pav. „ECA Group EF-CAR Motion“ vairavimo įranga [4]

1.9.3. „SILAB“

Šis sprendimas nėra skirtas VR, sistema naudoja specializuotą techniką (žr. 10 pav.), kuri imituoja vairavimą. Šis sprendimas pasižymi tuo, jog leidžia vairuoti daug įvairių automobilių tipų, tokių kaip lengvasis automobilis, furgonas, autobusas bei sunkvežimis. Sistema naudoja sudėtingus fizinius modelius siekdama imituoti automobilių judėjimą.

Kitų eismo dalyvių simuliacija yra pagrįsta šiuolaikiniais eismo modeliavimo modeliais. Be to, jų elgesį galima nustatyti labai tiksliai ir išsamiai, kad galima būtų imituoti bet kokią eismo situaciją. Sistema leidžia reguliuoti metų laikus, taip keičiant oro bei kelio sąlygas, sistemos garsai yra kuriami naudojant 3-D garso modelius, taip užtikrinant visišką aplinkos simuliaciją.

Pati „SILAB“ sistema yra grindžiama patikrintais scenarijais, kurių pagalba vartotojai mokosi spręsti įvairias situacijas, taip pat kiekvieną scenarijų galima koreguoti pagal vartotojo poreikius, taip įgaunant daugiau žinių specifiskose situacijose. Sistema leidžia įrašinėti kiekvieną vartotojo sesiją, taip suteikiama galimybė analizuoti padarytas klaidas [5].



10 pav. „SILAB“ vairavimo simulatorius

1.9.4. Virtualios realybės treniruotės dviračiu asistentas

Šis sprendimas buvo pristatytas tradicinėje kasmetinėje parodoje-konkurse „Technorama 2017“, tai yra programa, kurios pagalba vartotojas mindamas veloergometrą sporto salėje, naudodamas virtualios realybės akinius, vartotojas gali jaustis lyg važiuotų dviračių takais, apsuptais nuostabios gamtos. Sistema suprojektuota taip, jog veloergometras keičia minimo sudėtingumo lygį atitinkamai į tai, ar vartotojas mina į kalniuką ar leidžiasi nuo jo. Sistemoje naudojama sumodeliuota virtualios realybės aplinka, pagal Kauno miesto Panemunės šilo vietovę [24].

Sistemos aparatinę įrangą sudaro mobili virtualios realybės įranga „Samsung Gear VR“, kurios veikimui užtikrinti yra reikalingas išmanusis telefonas (žiūrėti 11 pav.). „Bluetooth“ ryšiu pagalba VR įranga bendrauja su treniruokliu, perduodama reikiamą informaciją treniruokliui [24].



11 pav. Virtualios realybės treniruotės dviračiu asistentas [24]

1.10. Analizės išvados

1. Atlikus egzistuojančių sprendimų vairavimo virtualioje realybėje analizę, buvo pastebėta, jog dauguma rinkoje esančių sprendimų yra orientuoti į automobilių vairuotojus, tai atveria puikias galimybes kurti sprendimus orientuotus į kitų transporto priemonių vairuotojus, pavyzdžiui, dviratininkus.
2. Virtualios realybės sfera nėra nauja, tačiau nėra labai iširta, todėl šioje sferoje yra daug galimybių kurti naujas sistemas bei jas pritaikyti edukaciniams tikslams.
3. Atlikus VR įrenginių analizę, galima teigti, jog šiam projektui, tinka visi įrenginiai, tačiau patogiausi iš jų būtų tie įrenginiai, kurie naudoja integruotą pozicijos sekimą, kas leistų sukurti kur kas patogesnę sprendimą.
4. Išanalizavus gerąsias VR programinės įrangos kūrimo praktikas, buvo pastebėta, jog norit užtikrinti malonų naudojimąsi VR aplinka, reikėtų vengti staigių (virtualios realybės aplinkoje) pozicijos keitimo metodų, reikėtų palaikyti bent 30 kadrų per sekundę greitį, palaikyti nuolatinį galvos pozicijos sekimą, vengti fiksuotų vaizdo elementų, vengti ryškių spalvų bei naudoti didelį matymo lauką.

2. Projektinė dalis

2.1. Architektūros pateikimas

Architektūros pateikimui bus naudojamas UML kalba - „Magic Draw“.

Architektūros pateikimui bus panaudoti tokie UML vaizdai:

- Panaudojimo atvejų vaizdai
- Klasių diagramos bei sistemos paketų diagramos
- Išdėstymo diagrama.

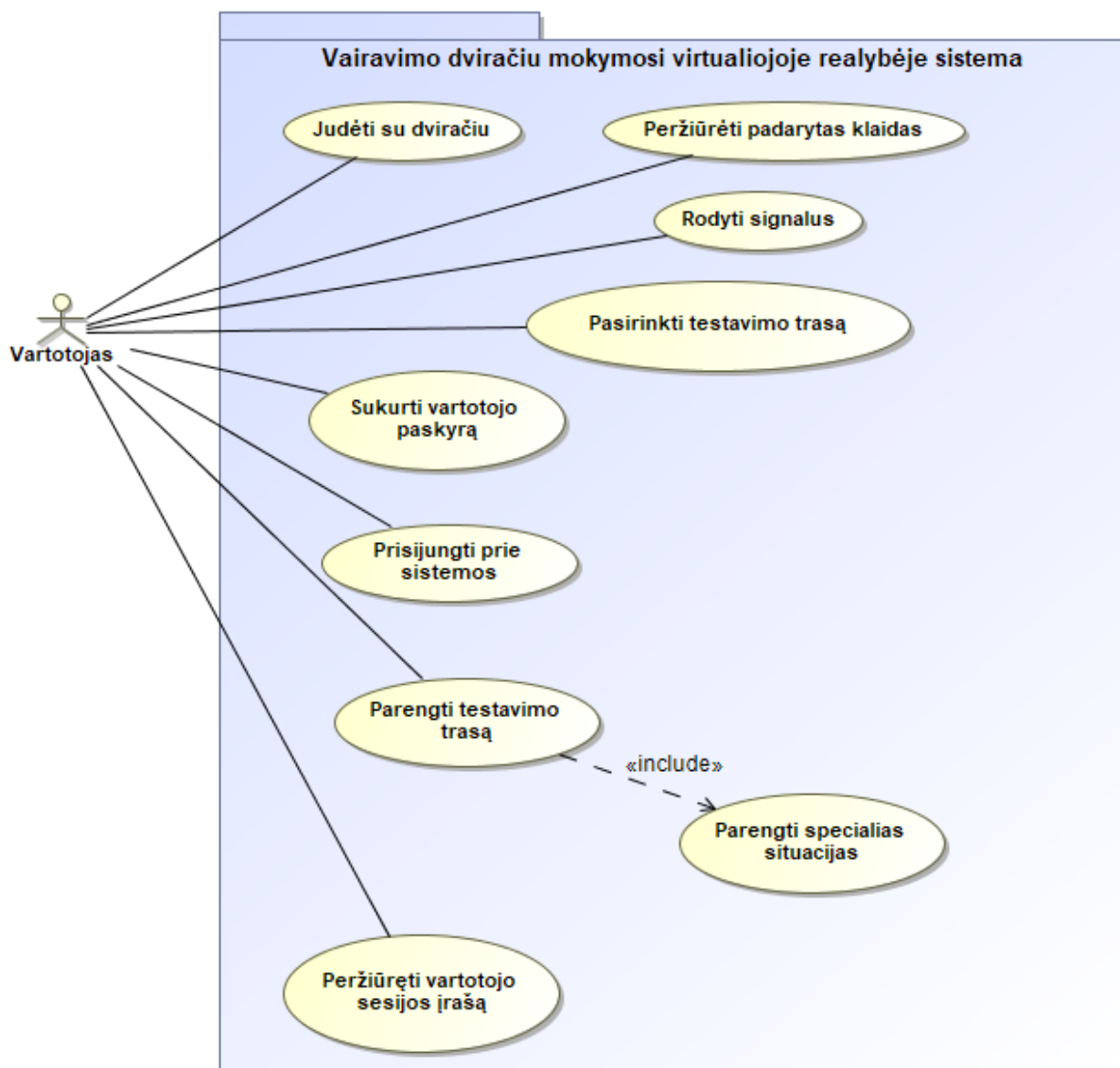
2.2. Architektūros tikslai ir apribojimai

Numatyti šie apribojimai:

- sistema turi būti kuriama naudojant „Unity 3D“ žaidimų variklį.
- žaidimo funkcionalumams programuoti bus naudojama C# programavimo kalba.
- VR realizacijai turi būti naudojama „SteamVR“ biblioteka, skirta komunikacijai tarp VR įrangos bei kuriamos programos.
- kuriamas žaidimas turi veikti ant VR įrenginių nemažesniu kaip 30 kadrų per sekundę greičiu.
- žaidimas turi veikti ant populiariausių VR įrenginių rinkoje
- produktas turi veikti ant Windows 10 OS bei turėti galimybę plėsti platformų prieinamumą.
- sistemos architektūra turėtų leisti nesudėtingą praplečiamumą.

2.3. Panaudojimo atvejų vaizdas

Pagrindiniai panaudojimo atvejai pateikiami 12 paveikslėlyje.



12 pav. Kuriamos sistemos PA

2 lentelė Judėti su dviračiu panaudojimo atvejis

1. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Judėti su dviračiu	
Vartotojas/Aktorius:	Vartotojas
Aprašas:	Šio proceso metu vartotojas juda virtualioje aplinkoje (Mina dviratį).
Prieš sąlyga:	Vartotojas pradėjo vairavimo sesiją (Pamoką)
Sužadinimo sąlyga:	-
Po-sąlyga:	Vartotojas jaučia aplinkos kitimą (vyksta judėjimas virtualioje realybėje)

3 lentelė Peržiūrėti padarytas klaidas panaudojimo atvejis

2. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Peržiūrėti padarytas klaidas	
Vartotojas/Aktorius:	Vartotojas
Aprašas:	Šio proceso metu vartotojas peržiūri, sesijos metu, padarytas vairavimo klaidas.
Prieš sąlyga:	Vartotojas užbaigė pradėtą vairavimo sesiją (Pamoką)
Sužadinimo sąlyga:	Vartotojas padarė vairavimo klaidą sesijos metu.
Po-sąlyga:	Vartotojui pateikiama informacija apie jo padarytas klaidas.

4 lentelė Rodyti signalus panaudojimo atvejis

3. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Rodyti signalus	
Vartotojas/Aktorius:	Vartotojas
Aprašas:	Šio proceso metu vartotojas (rankų pozicijos erdvėje pagalba) rodo norimą signalą
Prieš sąlyga:	Vartotojui duoti nurodymai atlikti manevrą.
Sužadinimo sąlyga:	-
Po-sąlyga:	Vartotojo parodytas signalas yra patikrinamas. Jei parodytas blogas signalas, pridedamas prie klaidų sąrašo

5 lentelė Pasirinkti testavimo trasą panaudojimo atvejis

4. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Pasirinkti testavimo trasą	
Vartotojas/Aktorius:	Vartotojas
Aprašas:	Šio proceso vartotojas renkasi norimą trasą (vietovę), kurioje bus atliekamas egzaminavimas.
Prieš sąlyga:	-
Sužadinimo sąlyga:	-
Po-sąlyga:	Vartotojas perkeliamas į pasirinktos trasos aplinką.

6 lentelė Parengti testavimo trasą panaudojimo atvejis

5. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Parengti testavimo trasą	
Vartotojas/Aktorius:	Vartotojas
Aprašas:	Šio proceso metu instruktorius sudaro mokymosi trasą.
Prieš sąlyga:	-
Sužadinimo sąlyga:	-
Po-sąlyga:	-

7 lentelė Sukurti vartotojo paskyrą panaudojimo atvejis

6. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Sukurti vartotojo paskyrą	
Vartotojas/Aktorius:	Vartotojas
Aprašas:	Šio proceso metu vartotojas parenka susikuria paskyrą
Prieš sąlyga:	-
Sužadinimo sąlyga:	-
Po-sąlyga:	-

8 lentelė Prisijungti prie sistemos panaudojimo atvejis

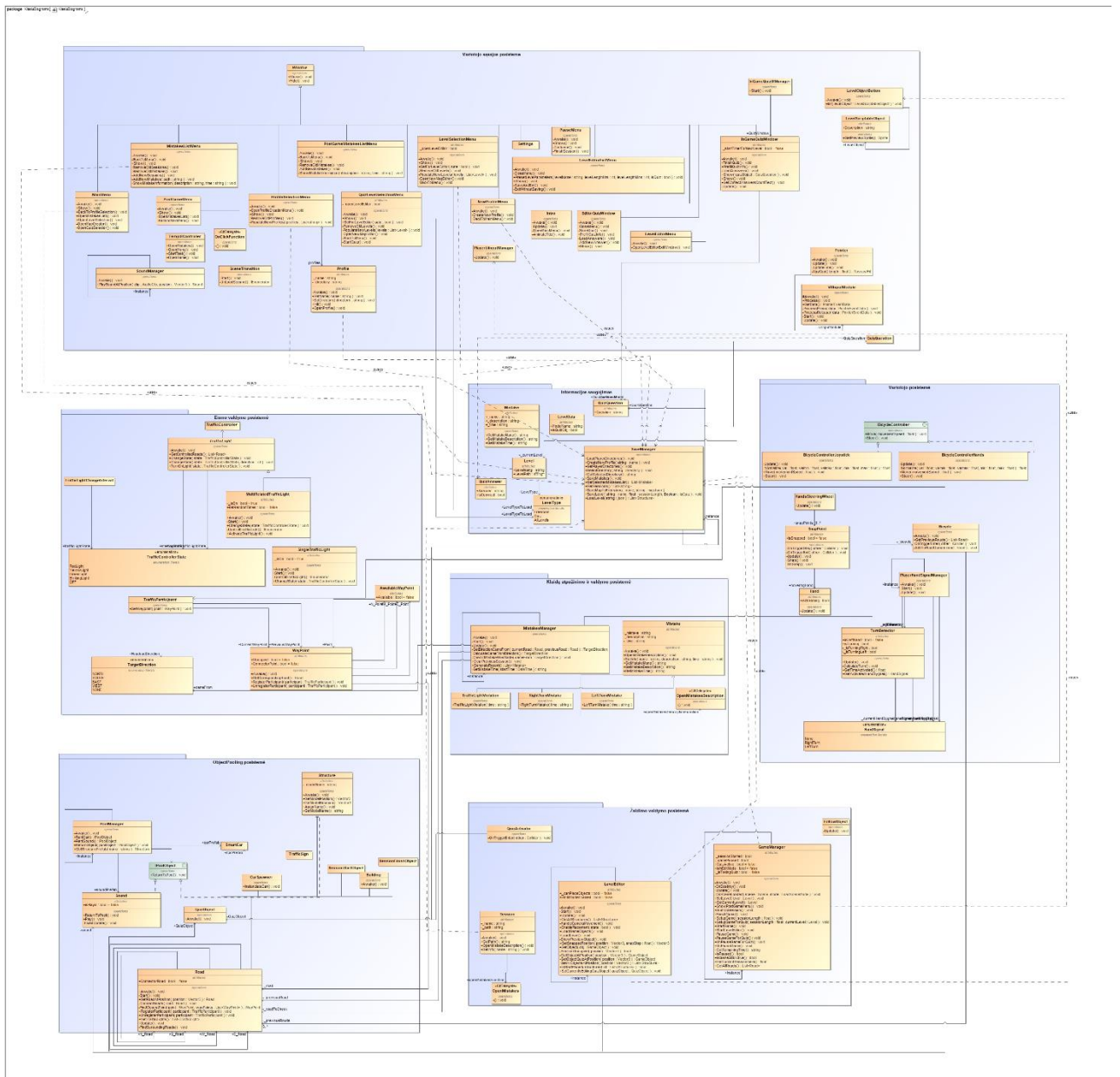
7. PANAUDOJIMO ATVEJIS: Prisijungti prie sistemos	
Vartotojas/Aktorius:	Vartotojas
Aprašas:	Šio proceso metu vartotojas prisijungia prie sistemos
Prieš sąlyga:	-
Sužadinimo sąlyga:	-
Po-sąlyga:	-

2.4. Sistemos statinis vaizdas

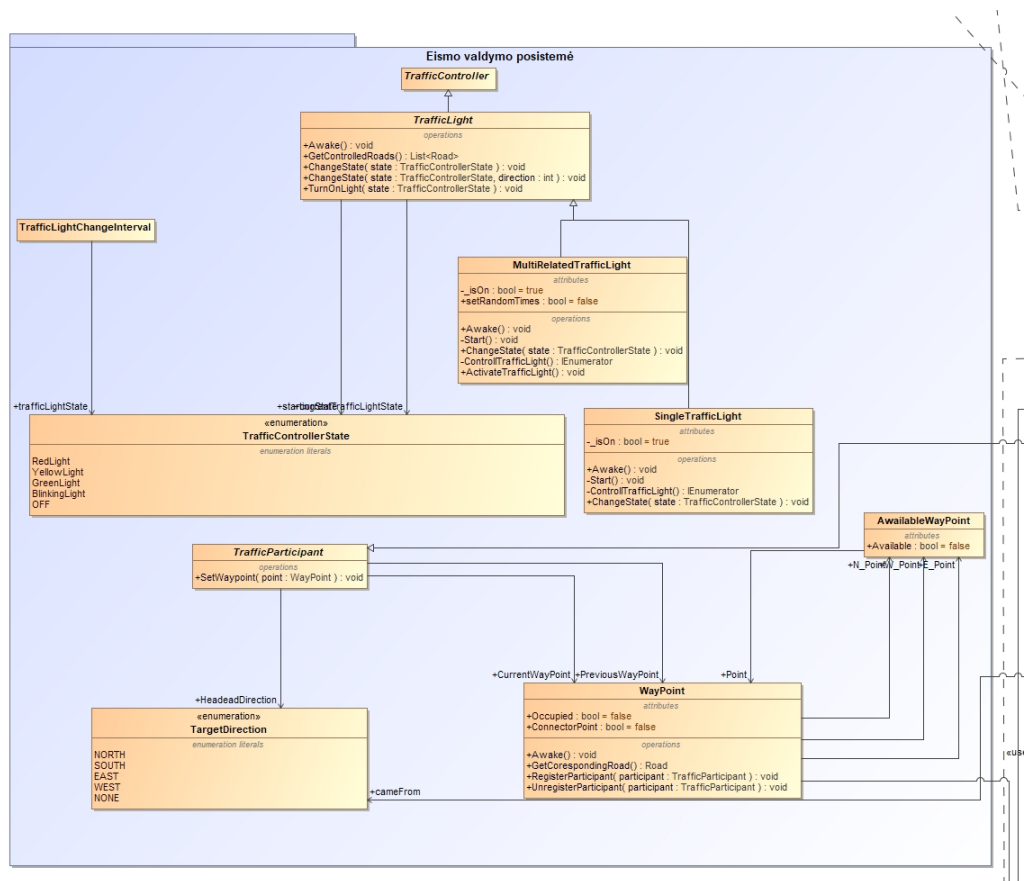
2.4.1. Apžvalga

Sistema suskirstyta į 7 paketus (13 pav.):

- Vartotojo sąsajos posistemė
- Eismo valdymo posistemė
- Informacijos saugojimas
- Vartotojo posistemė
- Klaidų atpažinimo ir valdymo posistemė
- „ObjectPooling“ posistemė
- Žaidimo valdymo posistemė



13 pav. Paketų diegrama

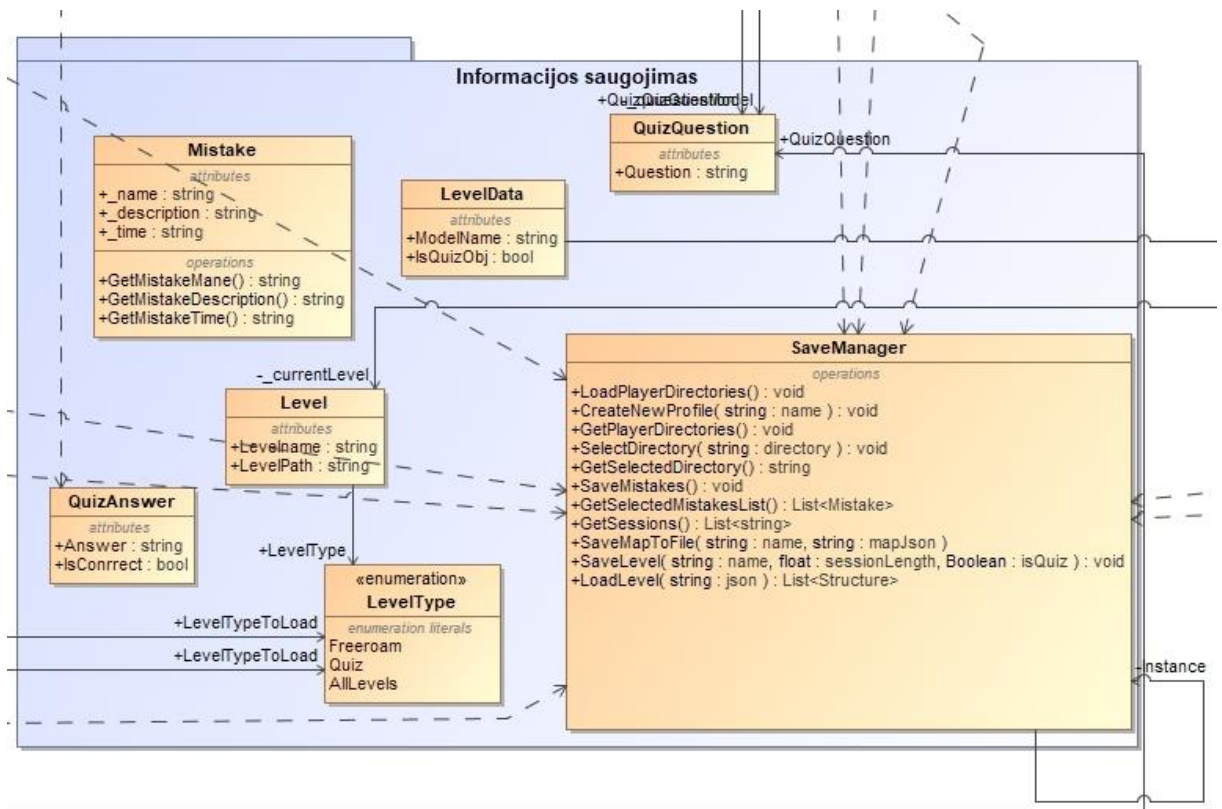


15 pav. Eismo valdymo posistemė

2.4.2.3. Informacijos saugojimas

Paketas *Informacijos saugojimas* skirtas apdoroti ir saugoti žaidime manipuliuojamą informaciją. Sistema atlieką saugojimą į failus bei atlieka informacijos užkrovimo valdymą. Paketo klasių struktūra pateikiama 16 paveikslėlyje

Pagrindinė šios posistemės klasė yra „SaveManager“, kuri atlieką visą žaidimo būsenų saugojimo darbą. Ši klasė atsakinga už žaidimo lygių, klausimynų bei vartotojo paskirų saugojimą.

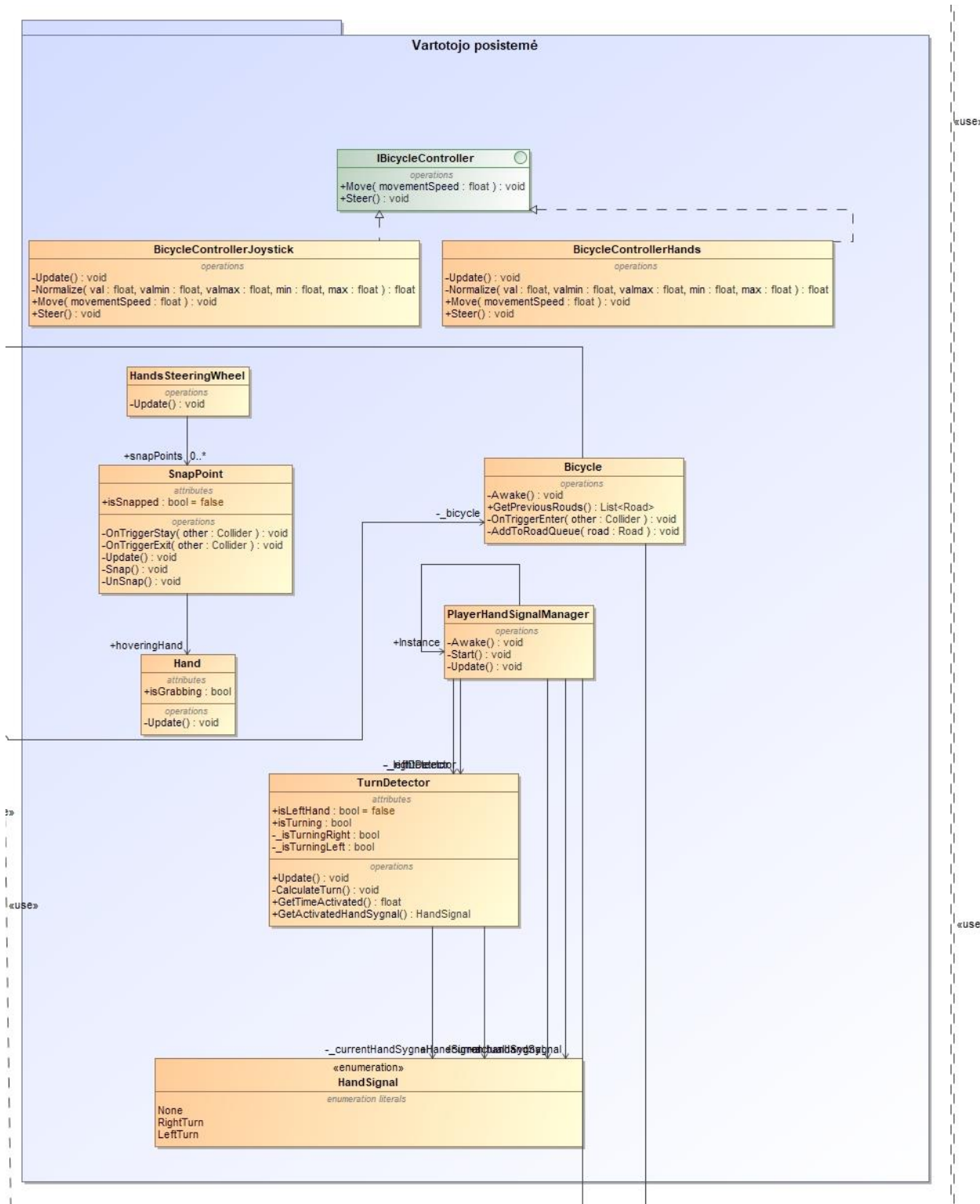


16 pav. Informācijas saugojimo posistemē

2.4.2.4. Vartotojo posistemė

Paketas *Vartotoji posistemė* skirtas valdyti vartotojo veiksmus – ženklų atpažinimas, dviračio valdymas, rankų valdymas. Paketo klasių struktūra pateikiama 17 paveikslėlyje

Šios posistemės svarbiausia klasė yra „IBicycleController“ sąsaja, kuri valdo dviračio judėjimą ir „TurnDetector“, kuri yra atsakinga už vartotojo posūkio atpažinimą ir valdymą.

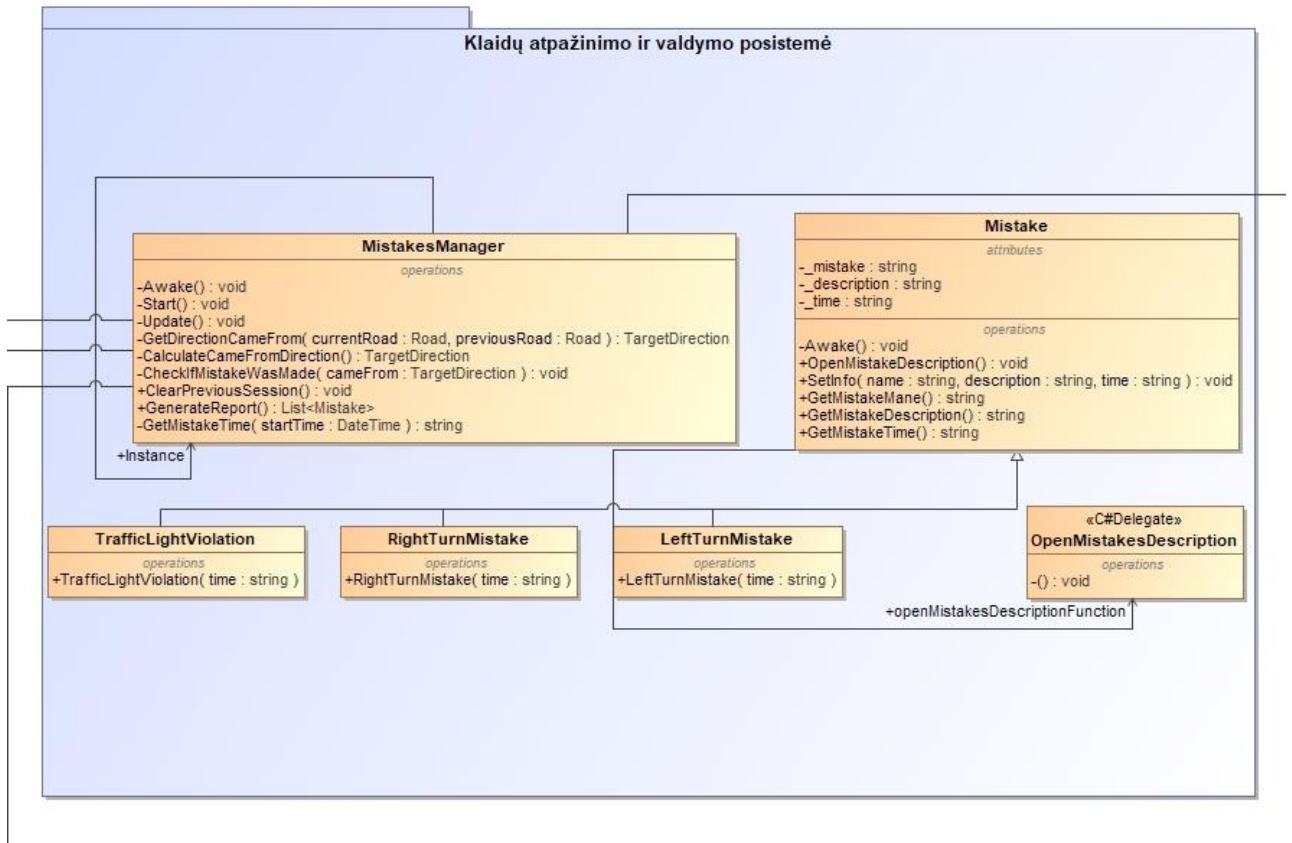


17 pav. Vartotojo posistemė

2.4.2.5. Klaidų atpažinimo ir valdymo posistemė

Paketas *Klaidų atpažinimo ir valdymo posistemė* skirtas vartotojo atliekamų klaidų valdymui. Paketo klasių struktūra pateikiama 18 paveikslėlyje

Šioje posistemėje svarbiausia klasė yra „MistakeManger“, kuri atsakinga už eismo taisyklių pažeidimo registravimą.

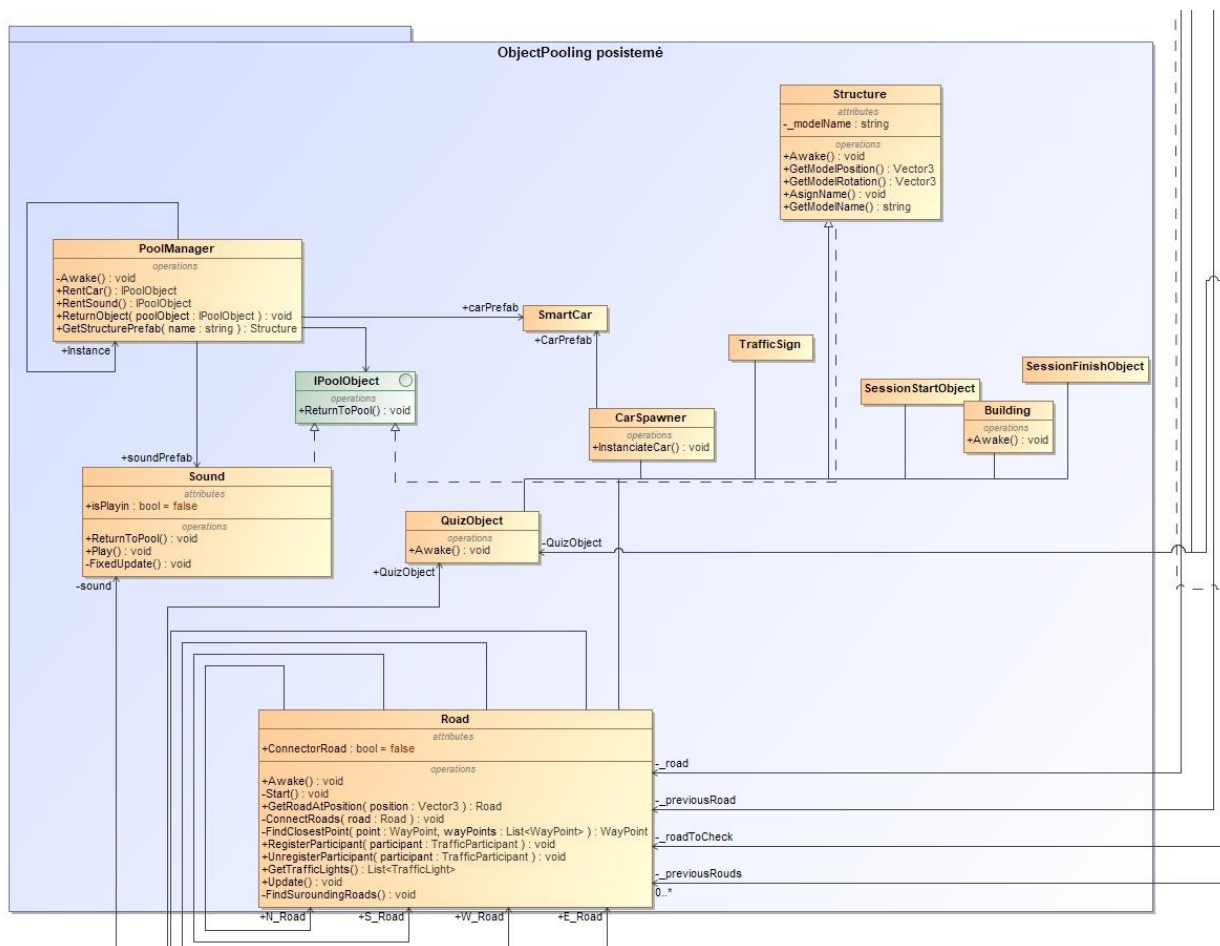


18 pav. Klaidų atpažinimo ir valdymo posistemė

2.4.2.6. Object Pooling posistemė

Paketas *Object Pooling posistemė* skirtas valdyti žaidime naudojamus žaidimo objektus. Paketo klasių struktūra pateikiama 19 paveikslėlyje

Šioje posistemėje svarbiausia klasė yra „PoolMaanager“, jos darbas yra valdyti objektų naudojimą žaidime, ji užtikrina, jog nauji objektai nebūtų sukuriami be reikalo, o seni, nenaudojami objektai, būtų per panaudoti.

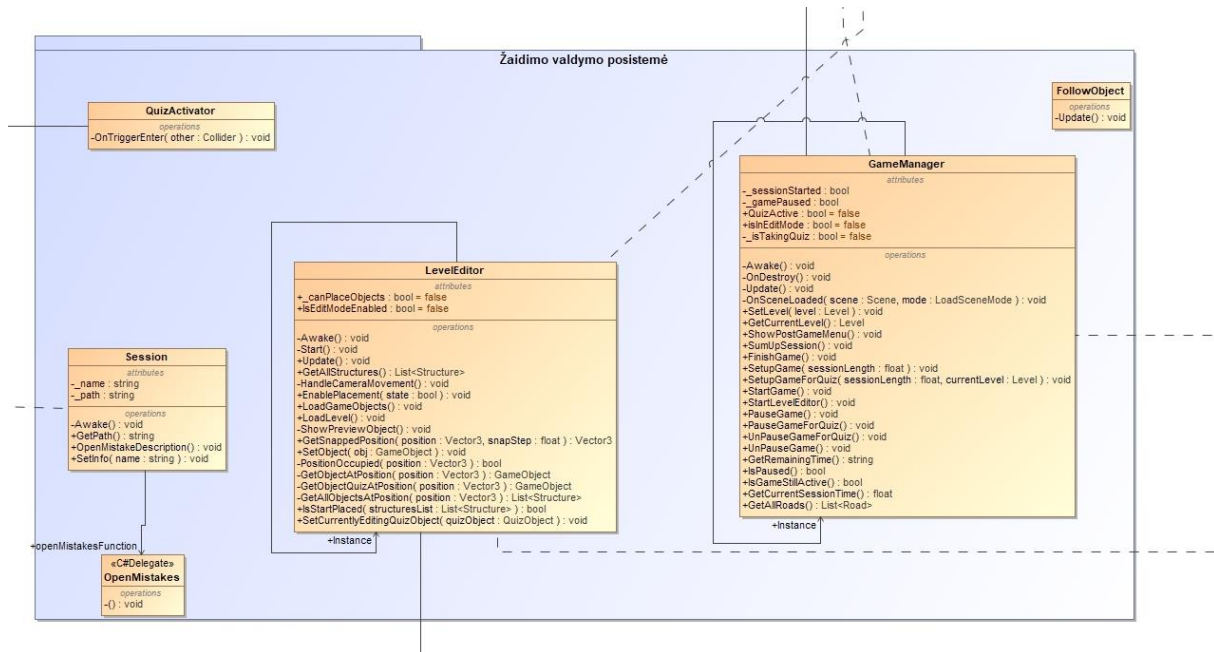


19 pav. „Object Pooling“ posistemė

2.4.2.7. Žaidimo valdymo posistemė

Paketas *Žaidimo valdymo posistemė* skirtas valdyti sistemos eigą ir veikimą. Paketo klasių struktūra pateikiama 5.9 paveikslėlyje.

Šioje posistemėje svarbiausios klasės yra „LevelEditor“, kuri yra atsakinga už žaidimo lygių bei klausimynų modeliavimą ir „GameManager“, kuri atsakinga už viso žaidimo valdymą (Paleidimą, sustabdymą, išjungimą, išsaugojimo iškvietimą ir kt.)



20 pav. Žaidimo valdymo posistemė

2.5. Išdėstymo (*deployment*) vaizdas



21 pav. Deployment diagrama

Asmeninis kompiuteris (PC):

- OS: Windows
- RAM: Bent 8 GB RAM
- GPU: NVIDIA GTX 1060 / AMD Radeon RX 480
- CPU: Intel i5-4590 / AMD Ryzen 5 1500X

Sistema veiks Windows 10 operacinėje sistemoje, kurioje yra įdiegta .NET aplinka.

3. Eksperimentiniai tyrimai

Tyrimai buvo atlikti naudojanti sukurta virtualios realybės programą skirtą mokytis eksploatuoti dviratį gatvėje. VR aplikacijos tyrimui buvo naudojama „Oculus Quest“ VR įranga. Siekiant įvertinti sukurta sistemą, buvo atliekami šie tyrimai:

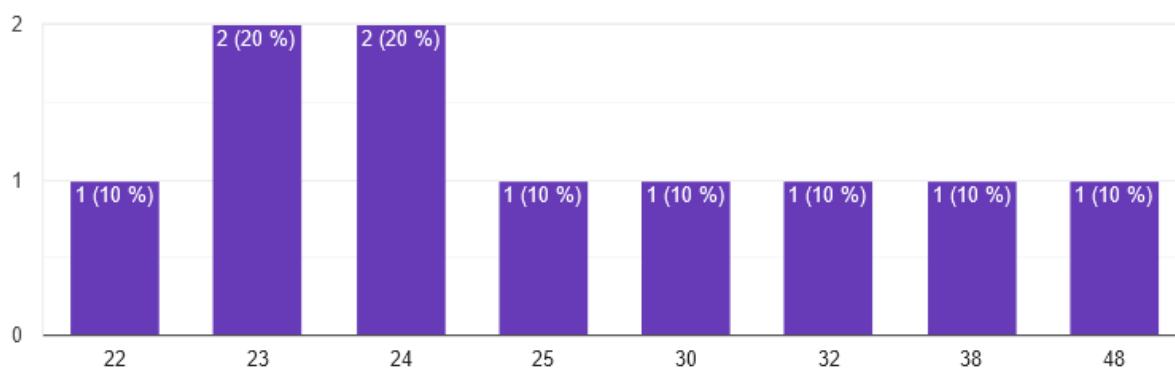
- Sistemos kokybės vertinimas.
- Klausimynas pagal internetinę mokymosi priemonių vertinimo skalę „WBLT“ (ang. *Web-based learning Tool Evaluation Scale*), kuris leidžia efektyviai ištirti mokymosi priemonės efektyvumą.
- „IPQ“ (ang. *Igroup Presence Questionnaire*) klausimynas, kuris leidžia ištirti, ar vartotojas yra įtraukiamas į virtualųjį pasaulį.
- Greitaveikos eksperimentai, kurių metu buvo eksperimentuojama, kaip objektų skaičius scenoje paveikia sukurto sistemos greitaveiką.

Prieš pradėdami klausimynus, respondentai taip pat buvo apklausiami, kaip dažnai naudojami VR bei jų amžiaus grupė. Visi eksperimentuose dalyvavę respondentai buvo trumpai supažindinami su sistema. Kiekvienam respondentui buvo leidžiama naudotis sistema neilgiau 20 minučių, taip siekiant išgauti kuo natūralesnius atsakymus be jokios pirminės patirties, naudojantis sistema.

Amžius / Age

 Kopijuoti

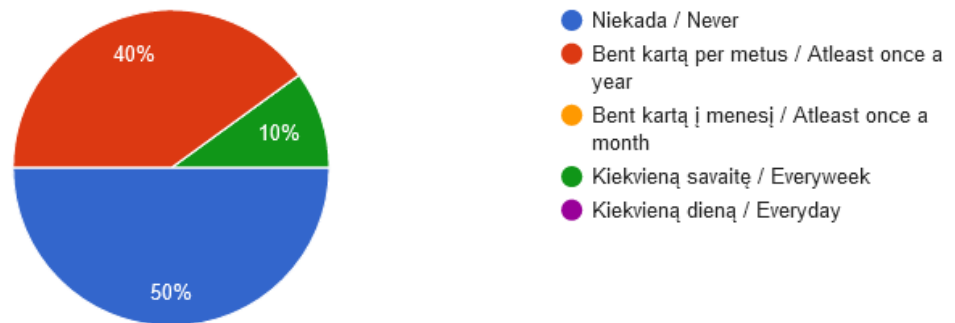
10 atsakymų



22 pav. Apklausoje dalyvavusių respondentų amžius

Respondentų amžiaus grupė ganėtinai neblogai išsisklaidžiusi (22 pav.), atliekant tyrimą yra galimybė išgauti informaciją tiek iš jaunesnio amžiaus grupei priklausančių respondentų, tiek iš vyresnio amžiaus respondentų.

10 atsakymų



23 pav. Apklausoje dalyvavusių respondentų VR naudojimo dažnumas

Į klausimą, kaip dažnai naudojasi virtualiąja realybe, respondentai atsakė ganėtinai skirtingai. 50% apklausoje dalyvavusių respondentų atsakė, jog virtualiąja realybe niekada nesinaudoja. 40% apklaustųjų respondentų virtualiąja realybe naudojasi bent kartą per metus. Iš apklausoje dalyvavusiųjų respondentų, tik vienas respondentas (10 %) atsakė, jog virtualiąją realybę naudoją kiekvieną dieną.

3.1. Sistemos kokybės tyrimas

3.1.1. Atlikto darbo kokybės analizės tikslai

Aptikti klaidas funkcionavime, logikoje, realizacijoje.

Sistemoje esančioms klaidoms aptikti buvo naudojamas testavimo planas, kurio pagalba buvo atlikti įvairūs testai kurie padėjo aptikti klaidas funkcionalume, logikoje bei realizacijoje.

Patikrinti ar programų sistema atitinka reikalavimų specifikaciją.

Programų sistemos atitikimas reikalavimų specifikaciją buvo atliktas kartu su projekto vadovu, buvo pademonstruota sukurta sistema, aptarta apie visas įgyvendintas funkcijas. Taip pat vadovo prašymu buvo pridėta keletas naujų funkcionalumų.

Įsitikinti, ar programų sistema sukurta pagal gerąsias praktikas.

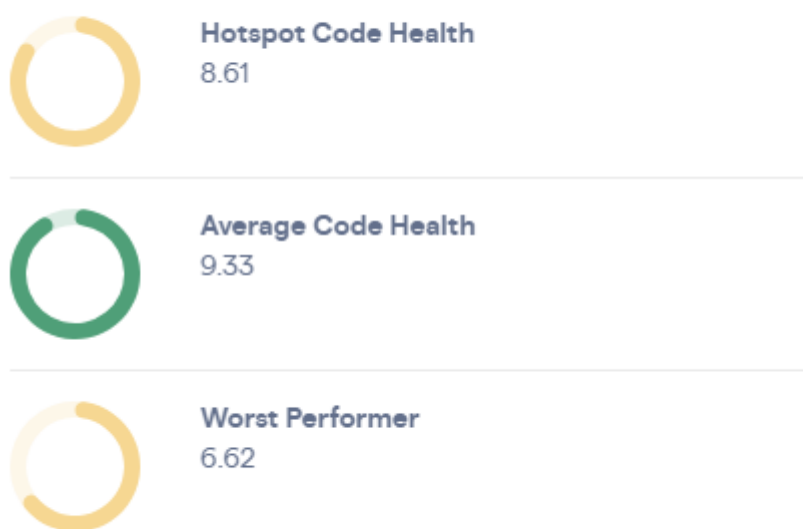
Sistema buvo kuriama atsižvelgiant į visas virtualios realybės gerąsias praktikas ir jas pritaikant projekte.

Įvertinti sistemos prižiūrimumą

Sistemai buvo atliktas palaikymo tyrimas naudojant „CodeScene“ įrankį, kurio pagalba buvo gautas sistemos kokybės vertinimas, pagal kurį galima daryti išvadas, ar sistema yra kokybiškai parengta ir ar jos palaikymas yra nesudėtingas.

3.1.2. Sistemos prižiūrimumo tyrimas

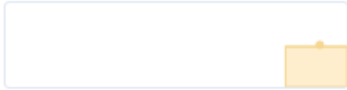
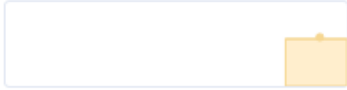
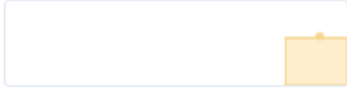


Siekiant ištirti sistemos prižiūrimumą, buvo atliekamas sistemos vertinimas naudojantis „CodeScene“ įrankiu, kuris išanalizuoja sistemą ir suteikia jai įvertinimą. Atlikus analizę (24 pav.), „CodeScene“ įvertino sistemos vidutinę kodo kokybę kaip 9.33, kas yra labai geras įvertinimas, tačiau kodo karštųjų taškų įvertis yra 8.61, kuris yra vis tiek labai aukštas įvertinimas. Įrankis aptiko, jog prasčiausias įvertinimas yra 6.62, tai yra šiek tiek geriau nei vidutiniškai, todėl galima būtų teigti, jog sistema yra ganėtinai kokybiška ir nesudėtingai palaikoma.



24 pav. CodeScene įrankio įvertinimas

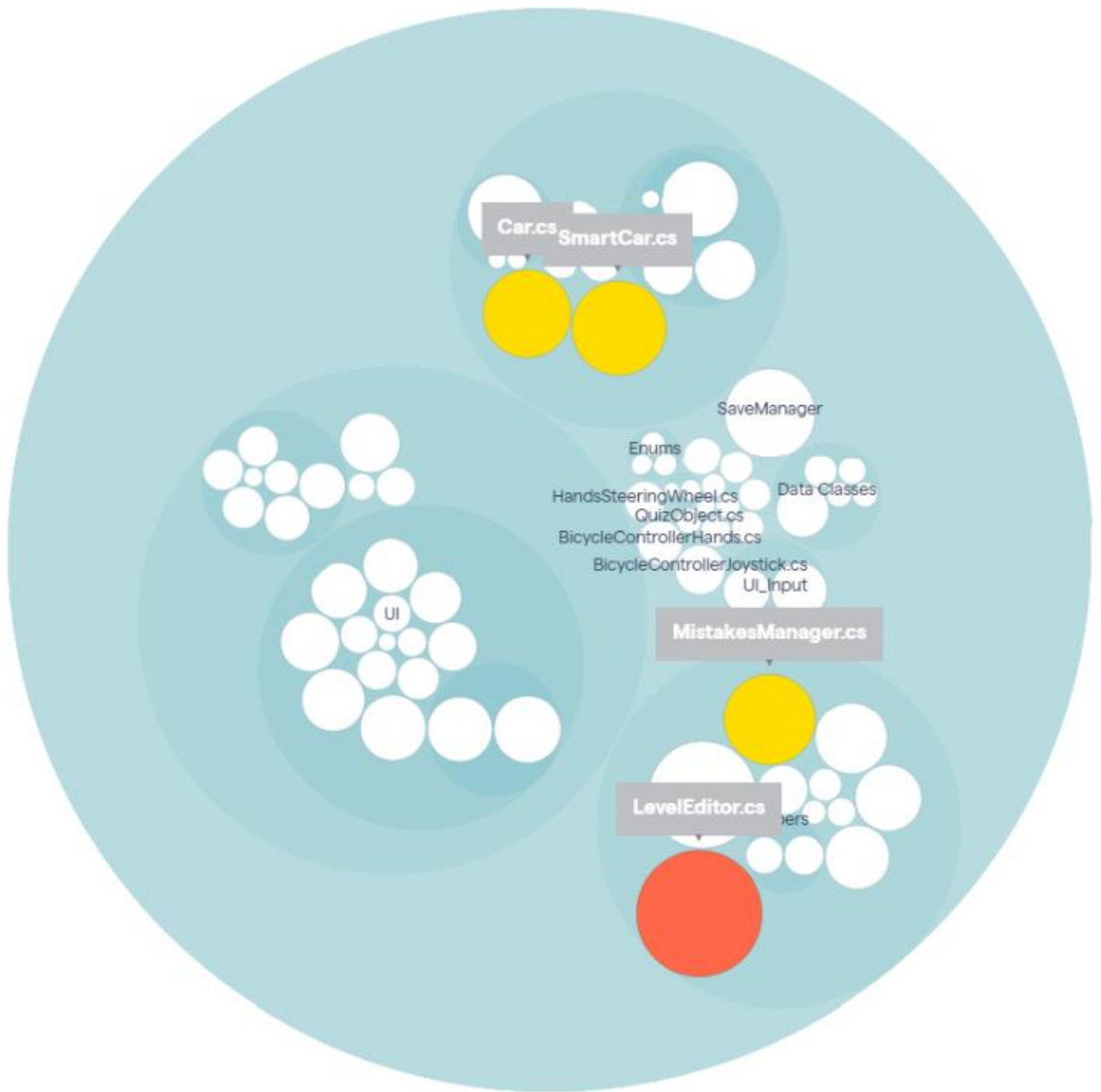
Prasčiausiai įvertintos sistemos klasės (25 pav.) yra *LevelEditor*, *SmartCar*, *MistakesManager* bei *Car*. *LevelEditor* yra įvertinta 6, tai žemiausias įvertinimas, tačiau atsižvelgiant jog klasė atsakinga už lygių kūrimą, joje yra daug sudėtingos logikos, kuri vardo objektų dėliojimą, sujungimą, bei bendrą lygių kūrimo procesą, šis įvertinimas yra labai geras.

File Level Hotspots

LevelEditor.cs My-games/BicycleVR/.../Helpers/ 320 LoC 1 commits		↑ 6
SmartCar.cs My-games/BicycleVR/.../Traffic System/ 181 LoC 1 commits		↑ 7
MistakesManager.cs My-games/BicycleVR/.../Helpers/ 171 LoC 1 commits		↑ 7
Car.cs My-games/BicycleVR/.../Traffic System/ 157 LoC 1 commits		↑ 8
TrafficLight.cs My-games/BicycleVR/.../Abstract/ 117 LoC 1 commits		↑ 9

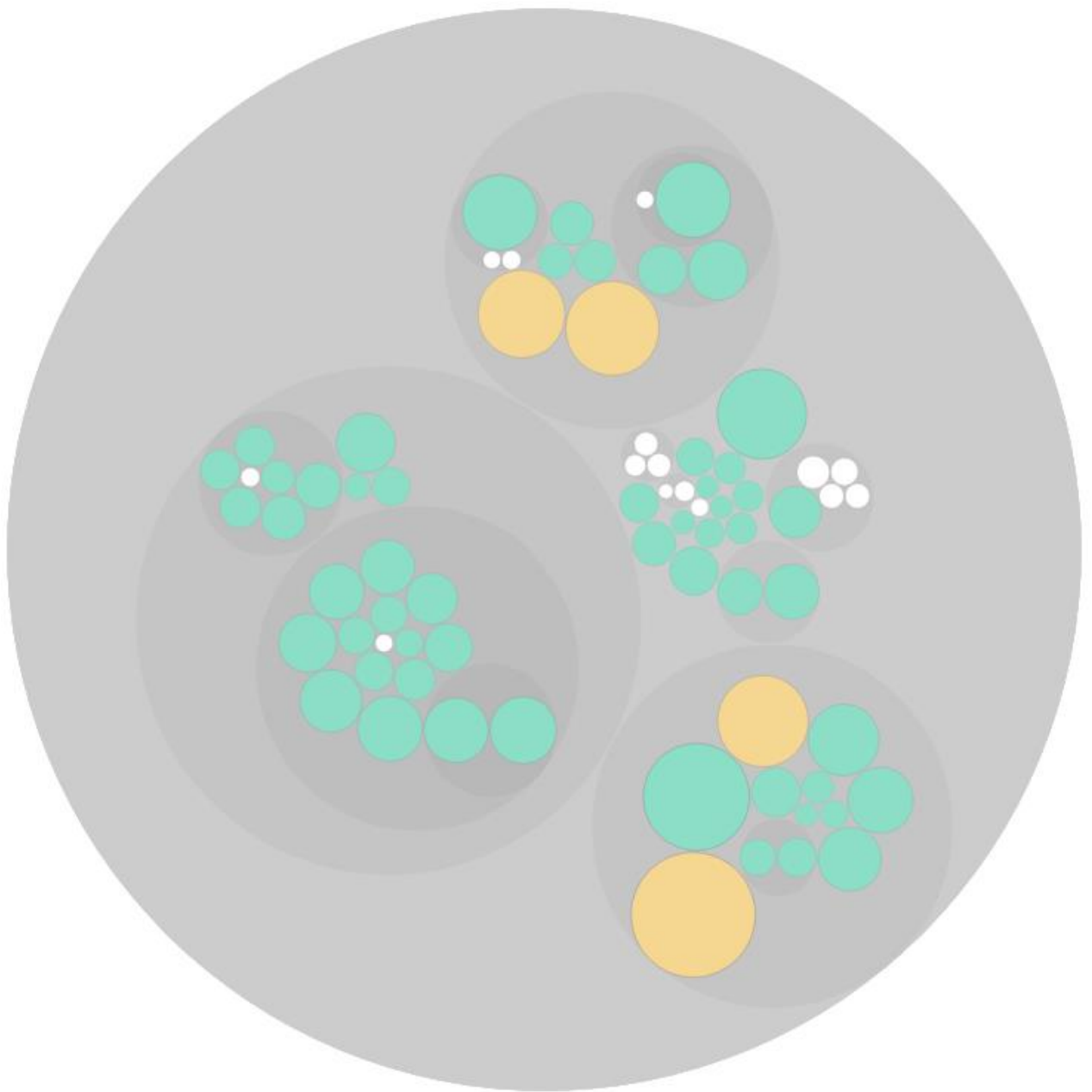
25 pav. Prasčiausi klasių įvertinimai.

„CodeScene“ įrankis taip pat pateikia labiausiai pertvarkymo (ang. *Refactoring*), reikalaujančių klasių žemėlapi (26 pav.), kuris informaciją pateikia spalvų principu, kuo raudonesnis apskritimas, tuo labiau reikalaujanti klasė pertvarkymų. Beveik visa sukurta sistema yra nudažyta baltai, todėl beveik niekur nereikalingi pertvarkymo darbai. Visoje sistemoje įrankis aptiko vos 4 klases, kurioms galima būtų pritaikyti pertvarkymo darbus, taip pagerinant sistemos palaikomumą.



26 pav. Labiausiai pertvarkymo reikalaujančios klasės

Bendras sistemos kodo įvertinimų žemėlapis (27 pav.) atrodo labai tvarkingai, sistemoje be prieš tai minėtų probleminių klasių, nėra jokių problemų.



27 pav. Bendras sistemos vaizdas

3.1.2.1. Problematinių klasių rentgenograma

Buvo atlikta klasių rentgenograma ant klasių, kurios buvo įvertintos prasčiausiai. Rentgenograma pateikia informaciją apie klasės metodų cikloMATINIO sudėtingumo įvertinimą. Gautus įvertinimus galima apdoroti pagal „McCabe“ cikloMATINIO sudėtingumo vertinimo lentelę (28 pav.)

CC reikšmė	Programos įvertinimas
1-10	paprasta, klaidų tikimybė maža
11-20	vidurinio sudėtingumo, klaidos tikimybė vidutinė
21-50	sudėtinga, didelė klaidos tikimybė
> 50	netestuojama

28 pav. „McCabe“ CikloMATINIO sudėtingumo vertinimo lentelė

Buvo atlikta rentgenograma ant *LevelEditor*, *SmartCar* ir *MistakesManager* klasių. Gauti rezultatai matomi paveikslėliuose 29-31.

LevelEditor klasėje buvo aptiktas 1 metodas „Update“, kuris smarkiai mažina bendrą klasės įvertinimą. „Update“ metodo cikloMATINIS sudėtingumas yra net 29, pagal „McCabe“ vertinimą tai yra sudėtingas metodas, kuris turi didelę klaidų tikimybę.

Function	Change Frequency	Lines of Code	Cyclomatic Complexity
Update View Complexity Trend View Function Code	0	122	29
GetObjectQuizAtPosition View Complexity Trend View Function Code	0	22	5
GetObjectAtPosition View Complexity Trend View Function Code	0	22	5
PositionOccupied View Complexity Trend View Function Code	0	22	5
HandleCameraMovement View Complexity Trend View Function Code	0	22	5
Start View Complexity Trend View Function Code	0	21	3

29 pav. *LevelEditor* klasės rentgenogramos rezultatai

SmartCar klasėje didžiausią ciklomatinių sudėtingumą turintis metodas yra 12, pagal „McCabe“ vertinimą tai yra vidutinio sudėtingumo metodas, visi kiti metodai vertinami kaip mažo sudėtingumo.

Function	Change Frequency	Lines of Code	Cyclomatic Complexity
Move View Complexity Trend View Function Code	0	59	12
TrafficRuleCheck View Complexity Trend View Function Code	0	48	10
OnTriggerStay View Complexity Trend View Function Code	0	16	5
OnTriggerExit View Complexity Trend View Function Code	0	15	5
CheckSurroundings View Complexity Trend View Function Code	0	13	4
FindPoint View Complexity Trend View Function Code	0	12	1

30 pav. SmartCar klasės rentgenogramos rezultatai

MistakesManager klasėje, pagal „McCabe“ lentelę, yra 1 metodas dedelio sudėtingumo ir 1 vidutinio sudėtingumo. Visi kiti klasės metodai yra žemo sudėtingumo.

Function	Change Frequency	Lines of Code	Cyclomatic Complexity
CalculateCameFromDirection View Complexity Trend View Function Code	0	42	17
CheckIfMistakeWasMade View Complexity Trend View Function Code	0	47	12
Update View Complexity Trend View Function Code	0	21	6
GetDirectionCameFrom View Complexity Trend View Function Code	0	26	5
GetMistakeTime View Complexity Trend View Function Code	0	22	3
ClearPreviousSession View Complexity Trend View Function Code	0	9	1

31 pav. MistakesManager klasės rentgenogramos rezultatai

3.1.2.2. Tobulinimas

„CodeScene“ įrankis taip pat pateikia klasių tobulinimo patarimų, kuriuos pritaikius prie žemiausią įvertinimą turinčių klasių, bendra sistemos kokybė gerokai pakiltų. Pagrindinės problemos, kurias pabrėžia įrankis:

- Didelis sąlygos sakinių kiekis
- Sudėtingi metodai
- Sudėtingos sąlygos

Išsprendus šias pagrindines problemas, bendras kodo įvertinimas pagerėtų, palengvėtų sistemos palaikymas bei pagerėtų bendras sistemos suprantamumas.

3.2. Sukurtos mokymosi priemonės įvertinimas


Siekiant įvertinti sukurtą sistemos kokybę, naudingumą bei įsitraukimą mokymosi aspektais, buvo atliekami eksperimentai, kurių metu, respondentams buvo leidžiama naudotis sukurta sistema. Sistema buvo paruošta taip, kad kiekvienas respondentas turėtų atlikti 20 klausimų virtualios realybės klausimyną, kurio metu kiekvienas respondentas buvo nukeliamas į įvairias kelių eismo situacijas, kurias išanalizavęs turi atsakyti į užduotą teorinį klausimą. Taip pat atlikę klausimyną, respondentams buvo leidžiama pasinaudoti sistemos egzaminavimo režimu, kurio metu respondentas gali laisvai tyrinėti virtualaus pasaulio gatves, naviguodamas dviračiu. Po sesijų, respondentams buvo pateikiami „WBLT“ klausimynai.

„WBLT“ klausimyną sudaro 13 klausimų, kurie yra suskirstyti į 3 pagrindines sferas – Mokymasis, Dizainas ir Įtraukimas. Kiekvienas respondentas atsakydamas į klausimyną turi nurodyti savo nuomonę į pateiktą klausimą, vertindamas reikšme nuo 1 iki 5 (1 – Visiškas nesutikimas, 5 – visiškas sutikimas).

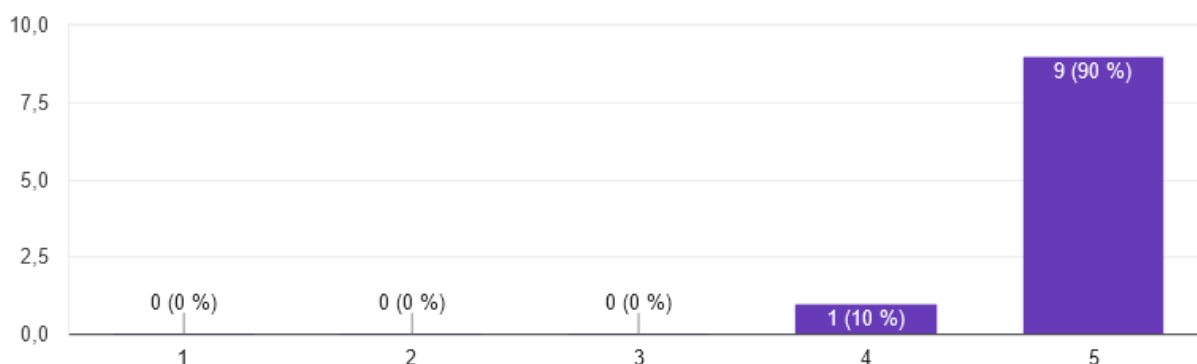
Žemiau yra pateikiami „WBLT“ klausimyno gauti rezultatai.

3.2.1. „WBLT“ mokymosi kategorija

1. Darbas su mokymosi objektu man padėjo mokytis / Working with the learning object helped me learn

 Kopijuoti

10 atsakymų

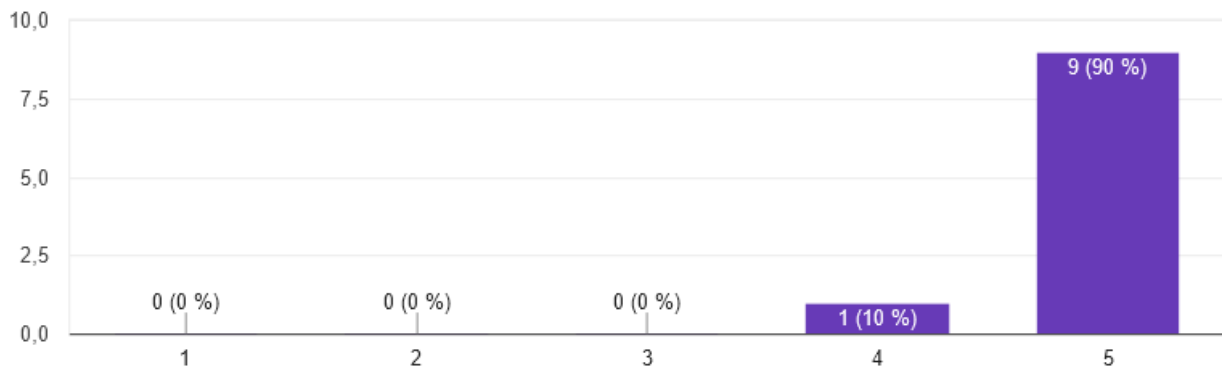


32 pav. („WBLT“, Mokymasis) 1 klausimas

2. Mokymosi objekto grįžtamasis ryšis man padėjo mokytis / The feedback from the learning object helped me learn


 Kopijuoti

10 atsakymų

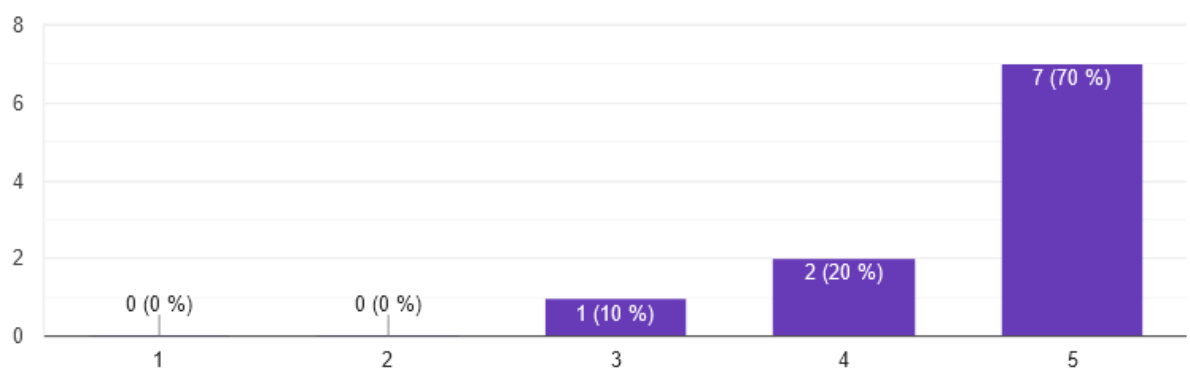


33 pav. („WBLT“, Mokymasis) 2 klausimas

3. Mokymosi objekto vaizdiniai ir animacijos man padėjo mokytis / The graphics and animations from the learning object helped me learn

 Kopijuoti

10 atsakymų

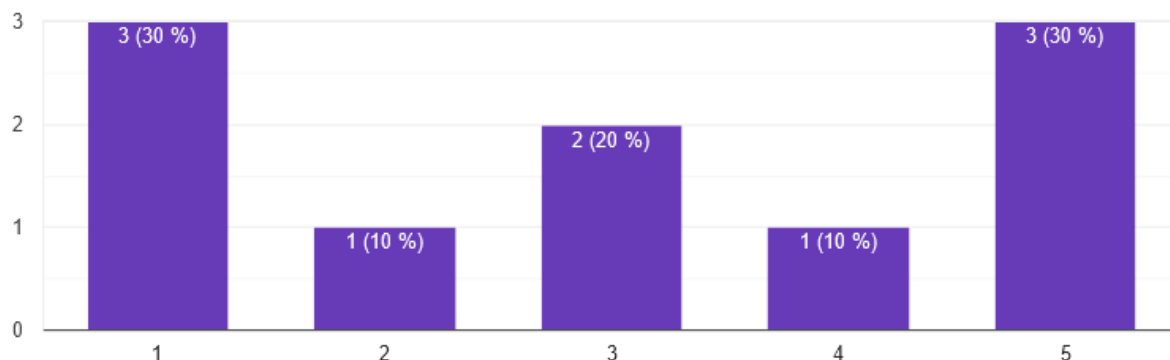


34 pav. („WBLT“, Mokymasis) 3 klausimas

4. Mokymosi objektas man padėjo įgyti naujų žinių / The learning object helped teach me a new concept

Kopijuoti

10 atsakymų

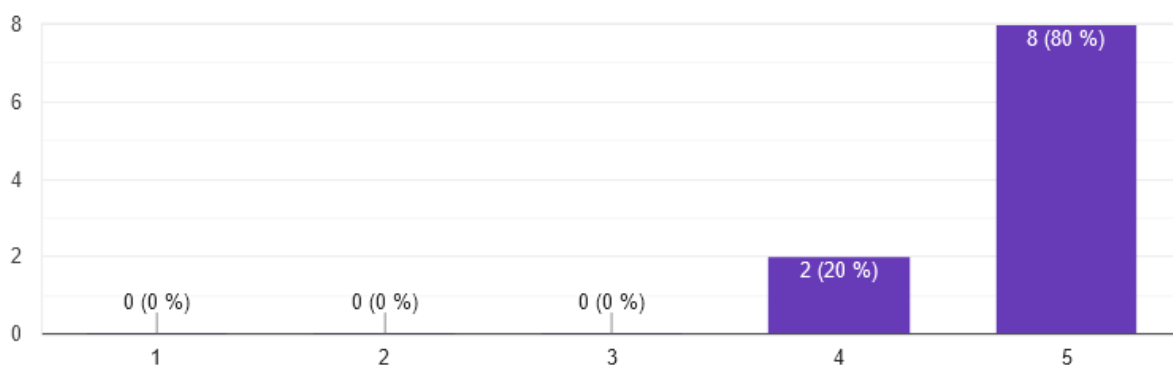


35 pav. („WBLT“, Mokymasis) 4 klausimas

5. Apskritai, mokymosi objektas man padėjo mokytis / Overall, the learning object helped me learn

Kopijuoti

10 atsakymų

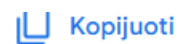


36 pav. („WBLT“, Mokymasis) 5 klausimas

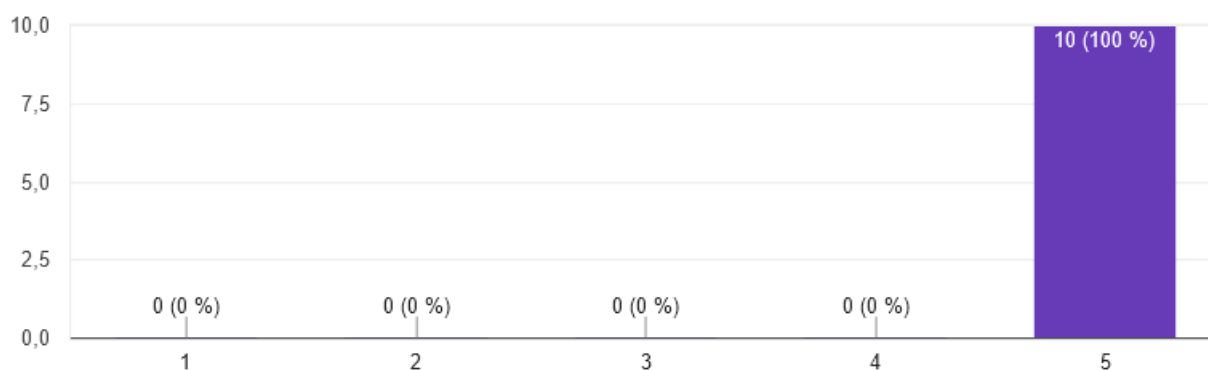
Gauti „WBLT“ Mokymosi kategorijos rezultatai yra ganėtinai geri, didžioji dalis respondentų labai teigiamai vertiną sistemos mokymosi suteikiamas galimybes. Vienintelis klausimas, į kurį respondentai atsakė labai skirtingai, buvo klausimas „Mokymosi objektas man padėjo įgyti naujų žinių“, taip nutiko, jog visi apklausoje respondentai yra vyresni nei 22 metai, todėl dauguma respondentų yra susipažinę su kelių eismo taisyklėmis, dėl to ši sistema nesuteikė per daug naujų žinių apie tai, kaip reikia eksploatuoti dviratį gatvėje.

3.2.2. WBLT dizaino kategorija

6. Mokymosi objekto pagalbos funkcijos buvo naudingos / The help features in the learning object were useful



10 atsakymų

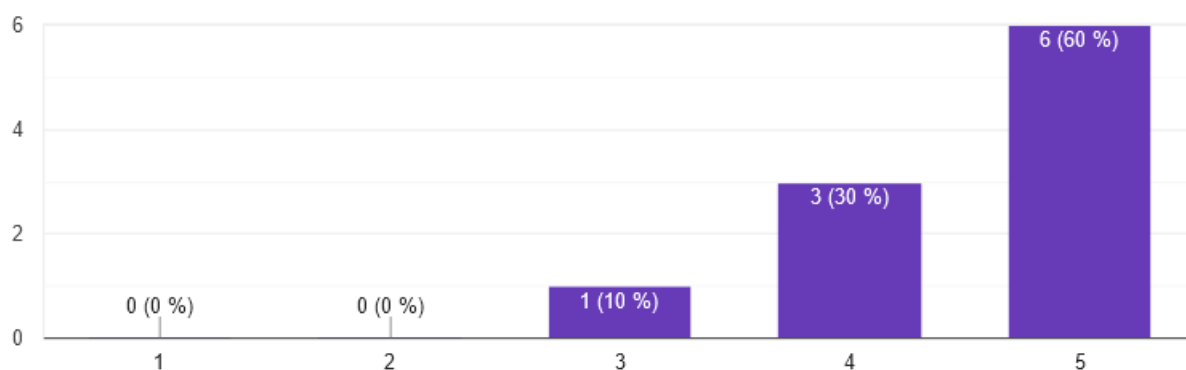


37 pav. („WBLT“, Dizainas) 1 klausimas

7. Mokymosi objekto nurodymai buvo lengvai vykdomi / The instructions in the learning object were easy to follow

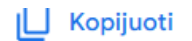


10 atsakymų

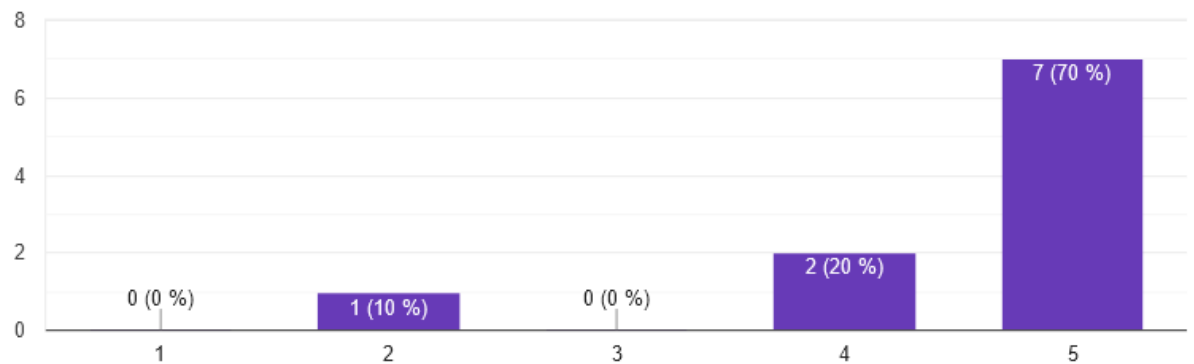


38 pav. („WBLT“, Dizainas) 2 klausimas

8. Mokymosi objektu buvo paprasta naudotis / The learning object was easy to use



10 atsakymų

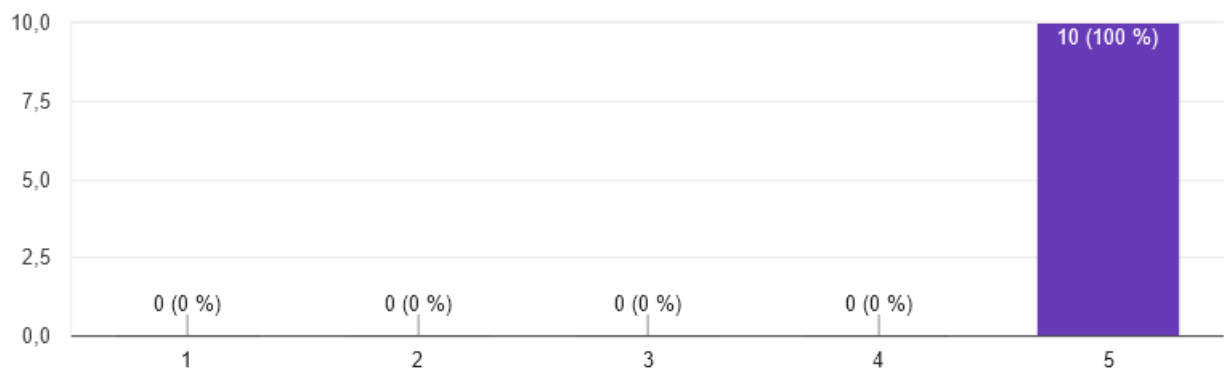


39 pav. („WBLT“, Dizainas) 3 klausimas

9. Mokymosi objektas buvo tinkamai parengtas / The learning object was well organized



10 atsakymų




40 pav. („WBLT“, Dizainas) 4 klausimas

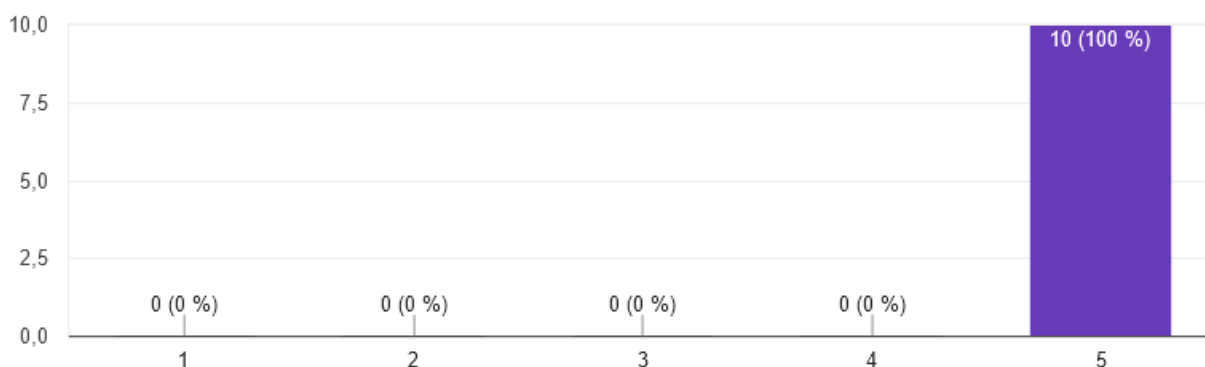
Gauti „WBLT“ Dizaino kategorijos atsakymai yra labai geri, dauguma apklausoje dalyvavusių respondentų sutinka, jog sukurtos sistemos dizainas yra geras. Vienintelis klausimas, kurį vienas respondentas įvertino 2, yra „Mokymosi objektu buvo paprasta naudotis“, kadangi kurta sistema yra pritaikyta virtualiajai realybei, naudojimasis kartais gali atrodyti ganėtinai nelengvas ypač jeigu vartotojas neturi pakankamai daug patirties su virtualios realybės sistemomis.

3.2.3. „WBLT“ įtraukimo kategorija

10. Man patiko bendra mokymosi objekto tema / I liked the overall theme of the learning object


 Kopijuoti

10 atsakymų

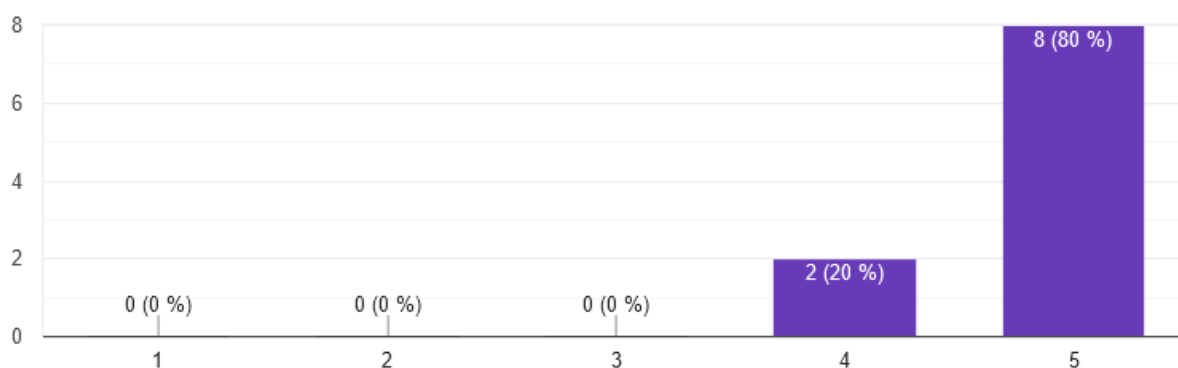


41 pav. („WBLT“, Įtraukimas) 1 klausimas

11. Mokymosi objektas man atrodė įtraukiantis / I found the learning object engaging

 Kopijuoti

10 atsakymų

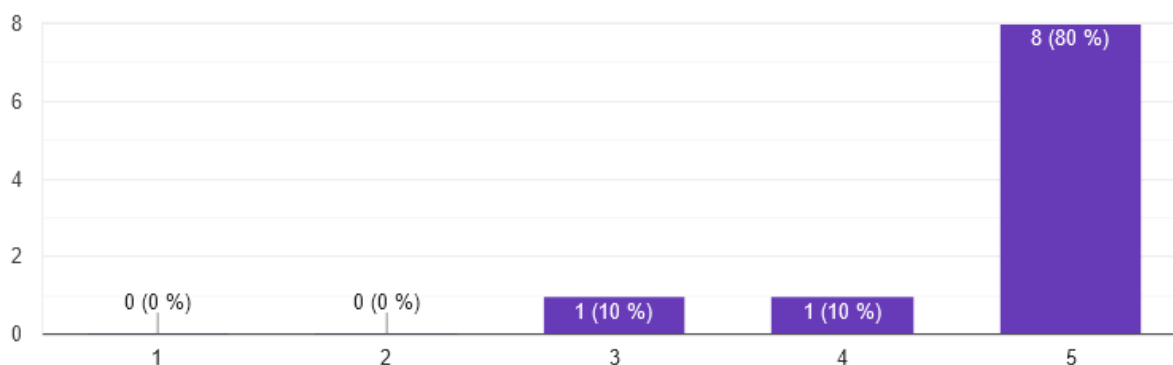


42 pav. („WBLT“, Įtraukimas) 2 klausimas

12. Su mokymosi objektu mokytis buvo įdomu / The learning object made learning fun

Kopijuoti

10 atsakymų

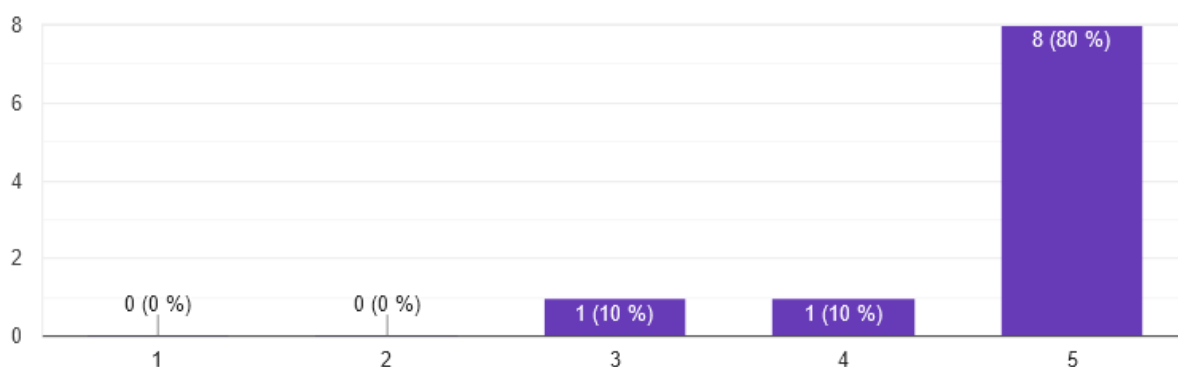


43 pav. („WBLT“, Įtraukimas) 3 klausimas

13. Norėčiau dar kartą panaudoti mokymosi objektą / I would like to use the learning object again

Kopijuoti

10 atsakymų



44 pav. („WBLT“, Įtraukimas) 4 klausimas

„WBLT“ įsitraukimo kategorijos gauti rezultatai yra labai geri, didžioji dalis apklaustųjų jautėsi jog yra įsitraukę į virtualiosios realybės pasaulį.

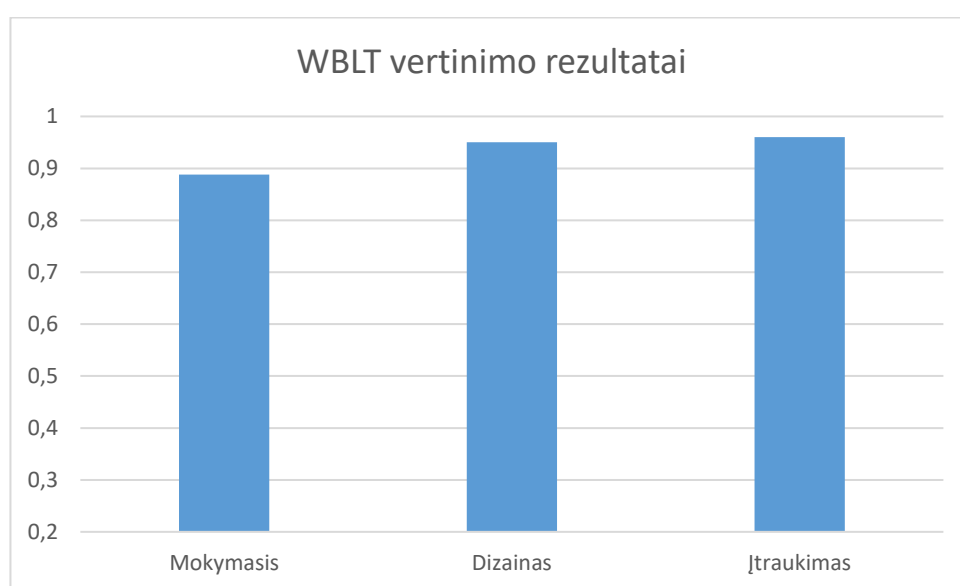
3.2.4. „WBLT“ tyrimo rezultatų apibendrinimas

Siekiant išgauti kuo tikslesnį sistemos vertinimą „WBLT“ skalės gauti rezultatai buvo normalizuoti, imant kiekvienos kategorijos gautų rezultatų sumą ir ją dalinant iš visos, toje kategorijoje, galimos gauti įvertinimo sumos.

Gauti rezultatai yra pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė „WBLT“ rezultatų vertinimo lentelė

Kategorija	Galimi balai	Gauti rezultatai	Įvertis
Mokymasis	50-250	222	0,888
Dizainas	40-200	190	0,95
Įtraukimas	40-200	192	0,96



45 pav. „WBLT“ apklausos rezultatai

Iš gautų rezultatų, matome, jog bendrai, sukurtos virtualiosios realybės sistema yra vertinama labai gerai (maksimalus kiekvienos kategorijos įvertinimas yra 1), mokymosi kategorijos įvertinimas yra 0,888, sistemos dizaino kategorija buvo įvertinta 0,95, o įsitraukimo kategorijos bendras įvertinimas yra 0,96. Visų kategorijų įvertinimas viršiją 0,8, o bendras visos sistemos įvertinimas yra 0,93 iš 1, todėl galima teigti, jog sukurta virtualiosios realybės sistema yra gerai parengta mokymuisi, yra naudinga ir patogi naudotis bei yra įtraukianti.

Mažiausią įvertinimą gavo mokymosi kategorija, taip galėjo nutikti todėl, kad sistemos sritis yra pakankamai gerai žinoma daugumai apklaustųjų respondentų, tačiau kadangi bendras įvertinimas siekia net 0,888, objektyviai, sistema vis tiek suteikia naujų žinių.

3.3. Vartotojo įsitraukimo į virtualiąją realybę tyrimas

Kiekvienos virtualiosios aplikacijos tikslas yra kuo labiau įtraukti į virtualų pasaulį. Siekiant įvertinti virtualiosios aplikacijos kokybę, buvo atliekamas tyrimas, kurio metu respondentai, pasinaudoję sukurta virtualiąja aplikacija, turėjo atsakyti į specializuotą „IPQ“ klausimyną, kurio pagalba buvo galima įvertinti virtualiosios aplikacijos kokybiškumą.

„IPQ“ klausimynas yra standartizuotas būdas įvertinti vartotojo įsitraukimą į virtualiąją aplinką pojūti. Šis klausimynas sudaro 3 pagrindines kategorijas [25]:

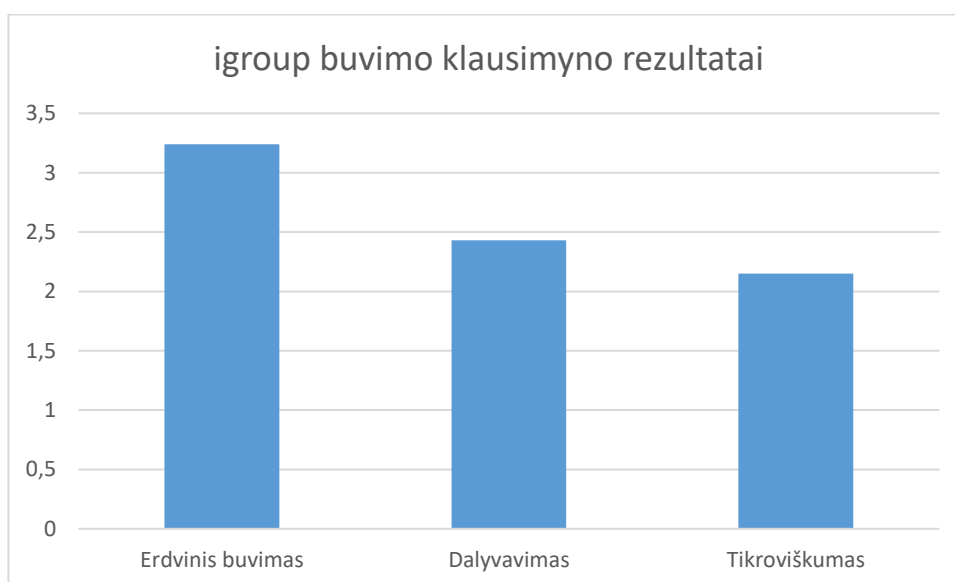
- Erdvinis būvimas – jausmas, kad fiziškai esama virtualiojoje aplinkoje
- Dalyvavimas – supančio pasaulio jautimas bei dalyvavimas virtualiojoje realybėje.
- Tikroviškumas – virtualiosios realybės realistiškumas

Šio klausimyno tikslas yra įvertinti kaip vartotojas įsitraukia į virtualiąją realybę, šis klausimynas sudaro 14 specializuotų klausimų, kurie yra specifiskai sukurti taip, kad galima būtų išgauti kuo tikslesnius rezultatus. Klausimyną sudaro klausimai bei invertuoti klausimai, taip užtikrinant galimybę išgauti tikslius rezultatus apie kiekvieną kategoriją. Į klausimyno klausimus, respondentai turi atsakyti įvertindami teiginį nuo 1 iki 5, jeigu su teiginiu nėra sutinkama tuomet vertinama 1, jeigu su teiginiu sutinkama - vertinama 5.

Gauti rezultatai pateikiami 10 lentelėje.

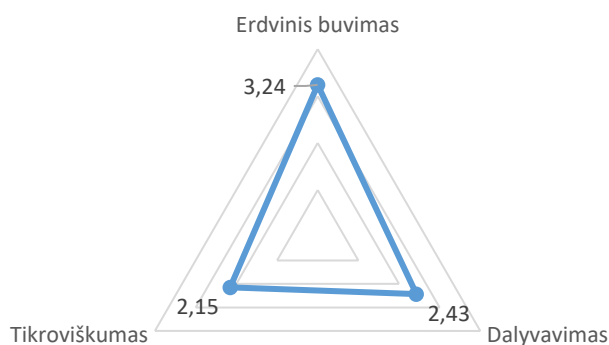
10 lentelė Gauti „IPQ“ rezultatų vidurkiai.

Erdvinis buvimas	Dalyvavimas	Tikroviškumas
3,24	2,43	2,15



46 pav. „igroup“ klausimyno rezultatai

igroup buvimo klausimyno radaro grafikas



47 pav. „igroup“ klausimyno rezultatai (radaro diagrama)

„IPQ“ klausimyno rezultatai yra labai ganėtinai geri, erdvinis buvimas įvertintas kaip 3,24, tikroviškumas 2,15 ir dalyvavimas 2,43. Iš radaro diagramos (47 pav.) gale matyti, jog gauti rezultatai pakankamai gerai pasiskirstę, nėra matyti jokios akivaizdžiai silpnos vietos, tačiau iš šių duomenų galime matyti, jog sistema yra įtraukianti į savo erdvę, tačiau dalyvavimas bei tikroviškumas nėra tokie stiprūs aspektai, todėl galima teigti, jog norit sistemą tobulinti, didžiausią dėmesį reikėtų skirti į tikroviškumo bei dalyvavimo aspektus. Pagerinus šias dvi vietas, bendras sistemos vaizdas smarkiai pagerėtų.

3.4. Greitaveikos tyrimas

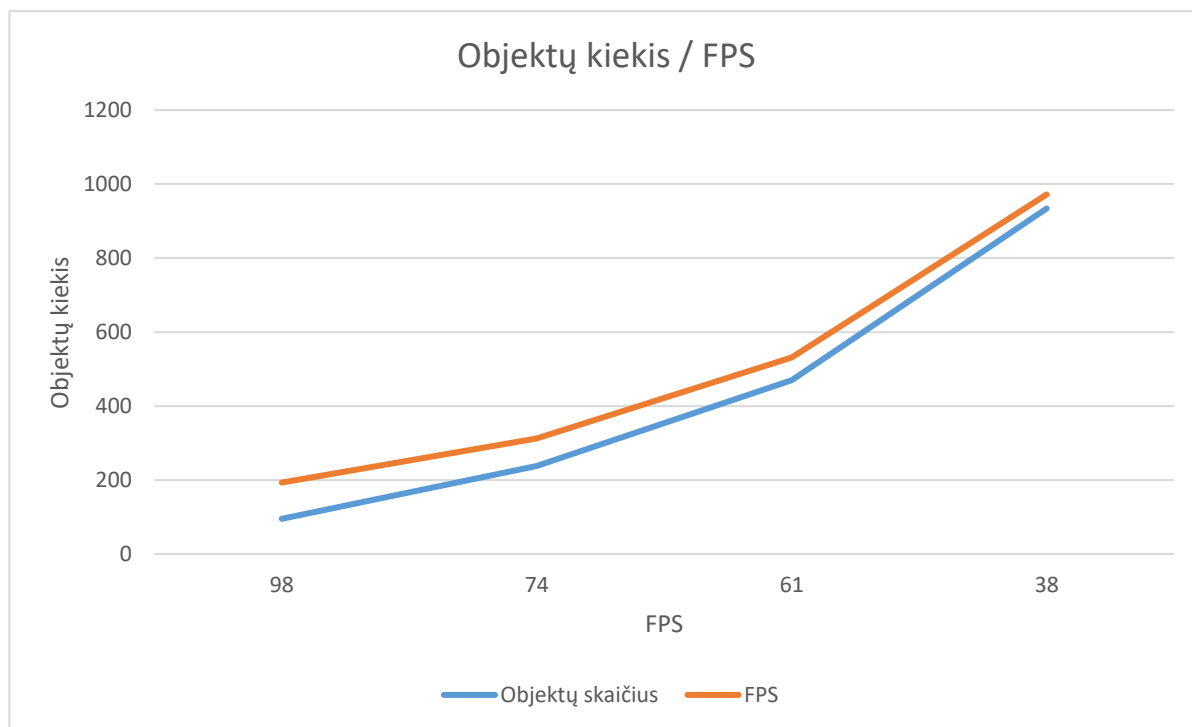
Virtuali realybė turi tam tikrus standartus, kurių privalu laikytis, siekiant užtikrinti malonų ir kokybišką VR sesiją. Kiekviena VR aplikacija privalo veikti ne mažesniu kaip 30 kadrų per sekundę greičiu (kadro trukmė 33,33ms.), tačiau rekomenduojamas virtualios realybės kadrų per sekundę greitis yra 60 kadrų per sekundę (16,67ms.). Sukurta aplikacija yra labai reikli resursams, kadangi norint užtikrinti kokybišką mokymąsi vairuoti, reikia leisti vartotojui pasinerti į kuo didesnę pasaulį. Greitaveikos įvertinimui buvo atliekami greitaveikos eksperimentai, kurių metu buvo surastas optimalus objektų kiekis virtualiajame pasaulyje kuomet sistema pajėgi išlaikyti rekomenduojamą 60 kadrų per sekundę spartą.

Kadangi kuriama sistema leidžia vartotojui mokytis vairuoti dviratį virtualioje aplinkoje, yra svarbu, kad virtualios aplinkos dydis pasaulis būtų didelis ir leistų vartotojui pilnai pasijusti, lyg vairuotų dviratį tikrose gatvėse.

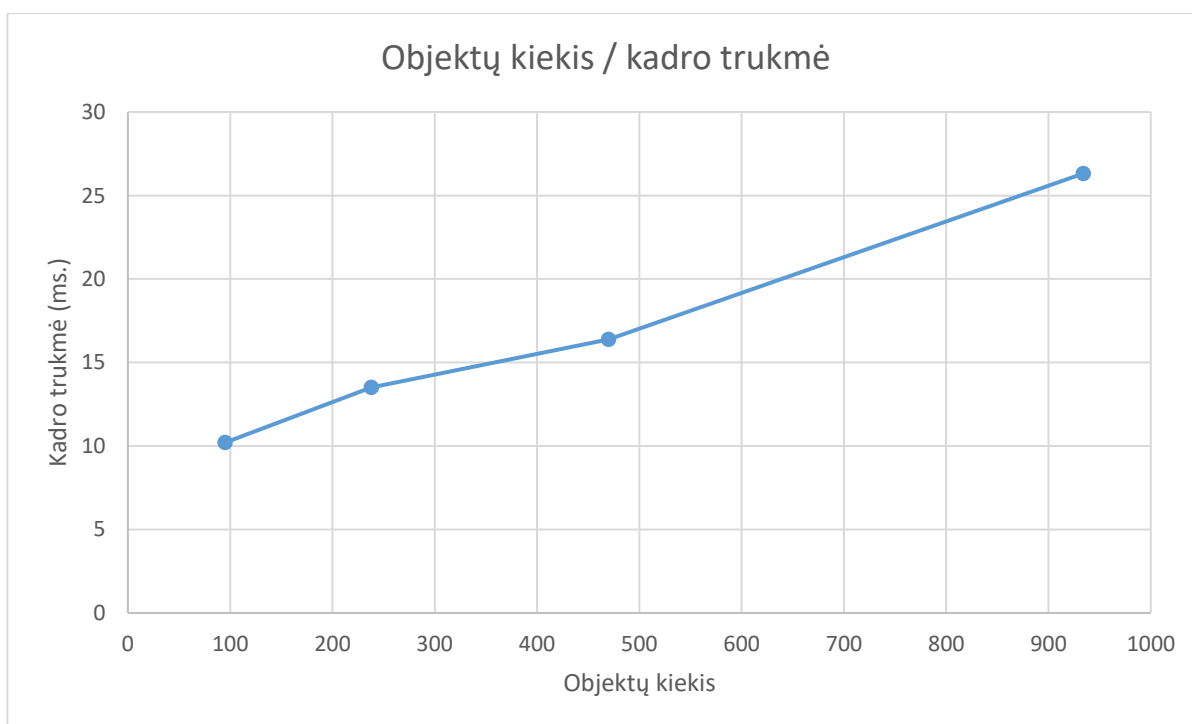
Šio eksperimento tikslas, yra ištirti, kaip objektų kiekis virtualiajame pasaulyje paveikia sistemos greitaveiką. Buvo atliekami 4 tyrimai, kur kiekvieno tyrimo metu objektų kiekis buvo didinamas dvigubai.

11 lentelė Greitaveikos eksperimento rezultatai

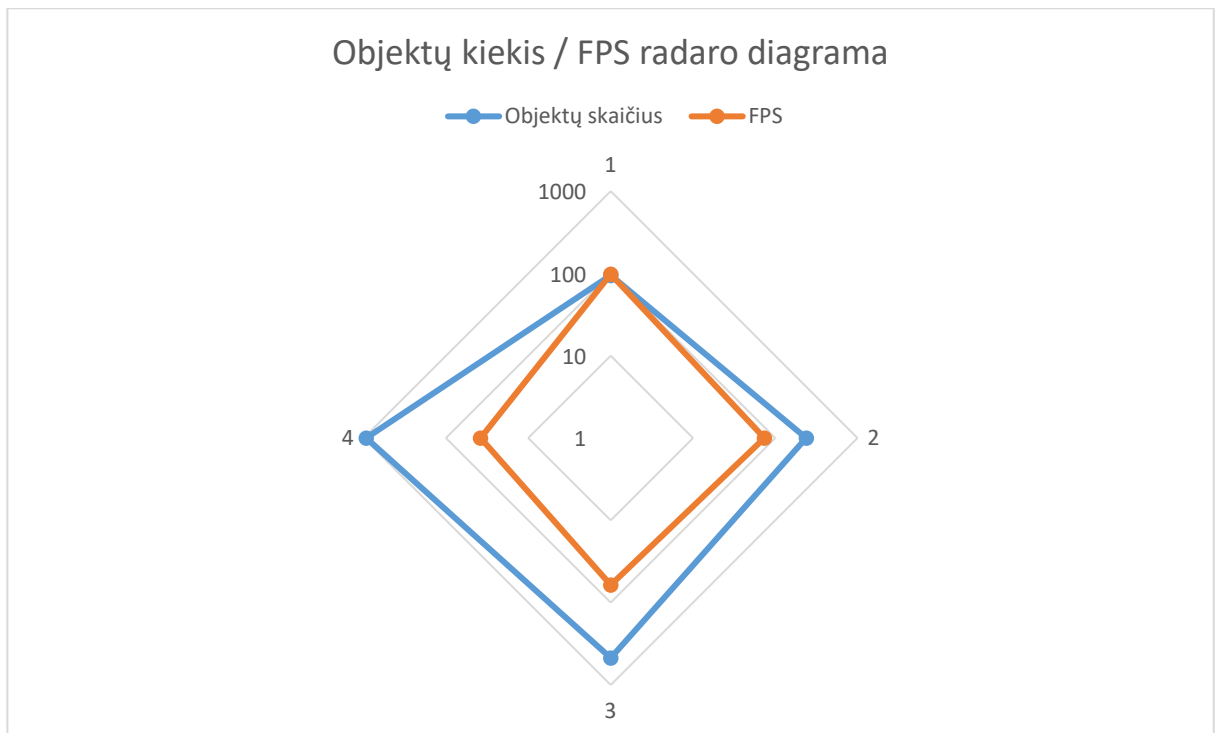
Objektų skaičius	FPS	Kadro trukmė (ms.)
95	98	10,204
238	74	13,514
470	61	16,393
934	38	26,316



48 pav. Kadro per sekundę (FPS) priklausomybės nuo objektų kiekio scenoje grafikas



49 pav. Kadro trukmės priklausomybė nuo objektų kiekio scenoje grafikas



50 pav. Kadro kiekio priklausomybė nuo objektų kiekio scenoje radaro grafikas

Iš rezultatų galime matyti jog virtualiosios realybės aplikacija yra pakankamai sparti, kadangi netgi su netoli 1000 (934) objektų scenoje kiekiu (11 lentelė), vidutinis kadro per sekundę greitis yra 38 (26,316 ms.), kas yra šiek tiek daugiau nei minimalus rekomenduojamas kadro per sekundę greitis. Iš 48 pav. esančio grafiko, matome, jog kadro per sekundę kiekis yra glaudžiai susijęs su objektų scenoje kiekiu. Iš 49 pav. esančio grafiko galime matyti, jog kadro trukmė auga lygiagrečiai su objektų scenoje augimu.

Greitaveikos rezultatus taip pat galime puikiai matyti ir iš radaro grafiko (50 pav.), jame puikiai matoma kadro per sekundę kiekio ir objektų scenoje kiekio priklausomybė.

Siekiant išgauti maksimalų objektų kiekį bei išlaikant rekomenduojamą kadro per sekundę kiekį (60 kadro per sekundę), optimaliausias objektų scenoje kiekis yra apie 500 objektų.

4. Rezultatai ir išvados

1. Atlikus virtualiosios realybės įrenginių analizę, buvo nuspręsta naudoti „Oculus Quest“, kadangi ši įranga nėra tokia brangi kaip kiti rinkoje esantys VR įrenginiai. Taip pat, „Oculus Quest“ puikiai veikia su „SteamVR“ biblioteka, kas palengvina kuriamos sistemos platinimą.
2. Išanalizavus turinio kūrimo priemones buvo pasirinkta naudoti „Unity 3D“ žaidimų variklį, kadangi „Unity“ yra vienas iš populiariausių žaidimų variklių. Šis žaidimų variklis yra nemokamas, leidžia dirbti su „Steam VR“ biblioteka. Taip pat, žaidimų variklis turi integruotą virtualiosios realybės palaikymą, kas pagreitina darbą.
3. Atlikus konkurentų analizę, buvo pastebėta jog rinkoje esantys sprendimai neteikia galimybės mokytis vairuoti su dviračiu naudojant virtualiąją realybę.
4. Buvo pasiūlyta ir sukurta sistema, kuri leidžia mokytis vairuoti virtualiojoje realybėje, modeliuoti virtualų pasaulį bei testuoti vairuotojus. Sukurtoje sistemoje yra realizuotos visos specifikacijoje apibrėžtos funkcijos, taip pat buvo pridėta papildoma galimybė testuoti vairuotojų teorines žinias.
5. Atlikus „WBLT“ tyrimą, buvo nustatyta, jog sukurtos VR aplikacijos mokymosi aspektas yra vertinamas 0,888 iš 1, sistemos dizainas įvertintas 0,95 iš 1, o vartotojų įtraukimas vertinamas 0,96. Iš gautų rezultatų galima daryti prielaidą, jog sukurtos sistemos dizainas ir vartotojų įsitraukimas yra stipriausi sistemos aspektai.
6. Atlikus „IPQ“ tyrimą, gauti rezultatai yra ypač geri, erdvinis būvimas įvertintas 3,24, tikroviškumas – 2,15 ir dalyvavimas 2,43. Iš gautų rezultatų galime teigti, jog sistema yra įtraukianti į virtualiąją erdvę. Siekiant tobulinti sistemą pirmiausia dėmesį reikėtų skirti dalyvavimo bei tikroviškumo aspektams, kadangi šios kategorijos surinko mažesnius įvertinimus lyginant su įsitraukimu.
7. Atlikti greitaveikos eksperimentai parodė, jog sistema geba dirbti rekomenduojamu greičiu (60 kadrų per sekundę) su dideliu kiekiu objektų. Su 1000 objektų, sistema dirba 38 kadrų per sekundę greičiu, kas viršija minimalų rekomenduojamą greitį. Sistema geriausiai dirba kuomet scenoje yra ne daugiau kaip 500 objektų.
8. Atlikus sistemos palaikymo tyrimą, buvo nustatyta, jog sistema yra kokybiška ir lengvai palaikoma, sistemos bendras įvertinimas yra 9,33 iš 10. Tai leidžia daryti prielaidą, jog sukurta sistema yra tikrai kokybiškai parengta ir ją palaikyti yra nesudėtinga. Taip pat galima teigti, jog sistemai augant, jos palaikymo kaina neturėtų per daug kilti.

Aprobavimas

1. Projektas „Mokymasis vairuoti dviračiu virtualioje realybėje“ buvo pristatytas 2020m. tarptautinėje konferencijoje „ALTA‘20“ „Pažangios mokymosi technologijos ir aplikacijos. Trumpos mokymosi programos“.

5. Literatūros saraksts

- [1] B. Blissing, „Driving in Virtual Reality,“ [Tinkle]. Available: <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1459751/FULLTEXT01.pdf>. [Kreiptasi 08 11 2020].
- [2] V. Petrock, „US Virtual and Augmented Reality Users 2020,“ 7 4 2020. [Tinkle]. Available: <https://www.emarketer.com/content/us-virtual-and-augmented-reality-users-2020>.
- [3] Forward Development, „<https://store.steampowered.com/>,“ Forward Development, 3 11 2016. [Tinkle]. Available: https://store.steampowered.com/app/493490/City_Car_Driving/. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [4] E. Group, „<https://www.ecagroup.com/>,“ 2020. [Tinkle]. Available: <https://www.ecagroup.com/en/solutions/ef-car-motion-car-simulator-movements>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [5] WivW, „Driving Simulation and SILAB,“ WivW, [Tinkle]. Available: <https://wivw.de/en/silab>. [Kreiptasi 08 11 2020].
- [6] IronCat, „Samsung VRRIDE,“ [Tinkle]. Available: <https://ironcat.lt/samsung-vrride/>.
- [7] Oculus, „Oculus best Practices,“ Oculus, [Tinkle]. Available: <https://static.oculus.com/documentation/pdfs/intro-vr/latest/bp.pdf>. [Kreiptasi 08 11 2020].
- [8] M. Paul, Best Practices and Virtual Reality Design Principles, 2018.
- [9] H. Strasburger, I. Rentschler ir M. Juttner, „Peripheral vision and pattern recognition: A review,“ 2011.
- [10] M. N. Michael van Eggermond, „Using Virtual Reality to Evaluate Cyclist’s Perceived Safety,“ [Tinkle]. Available: <https://www.nsl.ethz.ch/en/cycling-in-virtual-reality-for-improved-bike-paths/>.
- [11] U. Technologies, „<https://docs.unity3d.com/>,“ Unity Technologies, 27 10 2020. [Tinkle]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/XR.html>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [12] U. Engine, „<https://docs.unrealengine.com/>,“ Unreal Engine, [Tinkle]. Available: <https://docs.unrealengine.com/en-US/Engine/Blueprints/index.html>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [13] T. Sweeney, „<https://www.unrealengine.com/>,“ Unreal Engine, 16 8 2016. [Tinkle]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/build-for-vr-in-vr>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [14] Godot, „godotengine.org,“ Godot, [Tinkle]. Available: <https://godotengine.org/features>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [15] D. Burden, „Four major types of virtual reality,“ 21 2 2016. [Tinkle]. Available: <https://www.hypergridbusiness.com/2016/02/four-major-types-of-virtual-reality/>. [Kreiptasi 08 11 2020].
- [16] „slant.co,“ slant.co, [Tinkle]. Available: <https://www.slant.co/topics/2202/~best-game-engines-for-virtual-reality-development#1>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [17] Oculus, „[oculus.com](https://www.oculus.com/),“ Oculus, [Tinkle]. Available: <https://www.oculus.com/quest/>. [Kreiptasi 7 11 2020].

- [18] Vive, „Vive.com,“ Vive, [Tinkle]. Available: <https://www.vive.com/us/>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [19] valvesoftware, „valvesoftware.com,“ valve, [Tinkle]. Available: <https://www.valvesoftware.com/en/index>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [20] Valve, „HP Reverb G2,“ [Tinkle]. Available: https://store.steampowered.com/app/1271440/HP_Reverb_G2/. [Kreiptasi 08 10 2020].
- [21] „Circuitstream.com,“ 25 09 2020. [Tinkle]. Available: <https://circuitstream.com/blog/oculus-quest-2/>. [Kreiptasi 08 11 2020].
- [22] L. Goode, „Wired,“ Wired, 01 05 2019. [Tinkle]. Available: <https://www.wired.com/story/what-is-xr/>. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [23] F. Development, „City Car Driving,“ [Tinkle]. Available: https://store.steampowered.com/app/493490/City_Car_Driving/.
- [24] M. B. A. S. A. Weisbecker, 2015. [Tinkle]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/f080/c6a577929a18483124fe06ae58cdcc8e45c1.pdf>. [Kreiptasi 08 11 2020].
- [25] P. K. D. H. S. E. A. / D. Peter Alexander Kopciak, „Virtual Reality Driving Simulator Prototype for Teaching Situational Awareness in Traffic,“ 05 02 2016. [Tinkle]. Available: http://ffhoarep.fh-ooe.at/bitstream/123456789/574/1/103_266_Kopciak_FullPaper_en_Final.pdf. [Kreiptasi 7 11 2020].
- [26] KTU, „technorama.ktu.edu,“ 2017. [Tinkle]. Available: <https://technorama.ktu.edu/projects/virtualios-realybes-treniruotes-dviraciu-asistentas/>. [Kreiptasi 8 11 2020].

Priedai

1 priedas. IPQ klausimynas

IPQ klausimynas / IPQ questionnaire

Klausimyną užpildykite kiekviename teiginyje nuroydamami savo nuomonę (sutinkate ar nesutinkate) apie išbandytą VR mokomąją programą.

Fill in the form, choosing an option (agree, disagree) in every statement that would best show your opinion about the tested VR learning program.

1. Jaučiausi lyg iš tikrųjų būčiau virtualioje aplinkoje / In the computer generated world I had a sense of "being there". *

1 2 3 4 5

Visiškai ne / Not at all Labai / Very much

2. Turėjau pojūtį, lyg virtualusis pasaulis mane supa / Somehow I felt that the virtual world surrounded me. *

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku / Fully disagree Visiškai sutinku / Fully Agree

3. Jaučiausi lyg stebėjau paveikslukus / I felt like I was just perceiving pictures. *

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku / Fully disagree

Visiškai sutinku / Fully Agree

4. Nesijaučiau esanti/-is virtualiojoje aplinkoje / I did not feel present in the virtual space. *

1 2 3 4 5

Nesijaučiau / Did not feel

Jaučiausi / Felt present

5. Turėjau pojūtį, lyg veiksmai buvo atliekami virtualiojoje erdvėje, o ne per kažką išorinio / I had a sense of acting in the virtual space, rather than operating something from outside. *

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku / Fully disagree

Visiškai sutinku / Fully Agree

6. Jaučiausi esanti/-is virtualiojoje aplinkoje / I felt present in the virtual space. *

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku / Fully disagree

Visiškai sutinku / Fully Agree

7. Kiek jautėte jus supantį tikrą pasaulį kol nagingėte virtualųjį pasaulį? / How aware were you of the real world surrounding while navigating in the virtual world? (i.e. sounds, room temperature, other people, etc.)? *

1 2 3 4 5

Visiškai jaučiau/ Extremely aware

Visiškai nejaučiau / Not aware at all

8. Aš nejaučiau mane supančios tikros aplinkos / I was not aware of my real environment. *

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku / Fully disagree

Visiškai sutinku / Fully Agree

9. Vistiek kreipiau dėmesį į tikrąją aplinką / I still paid attention to the real environment. *

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku / Fully disagree Visiškai sutinku / Fully Agree

10. Mane visiškai įtraukė virtualusis pasaulis / I was completely captivated by the virtual world. *

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku / Fully disagree Visiškai sutinku / Fully Agree

11. Kiek tikroviškas jums atrodė virtualusis pasaulis? / How real did the virtual world seem to you? *

1 2 3 4 5

Visiškai tikroviškas / Completely real Visiškai netikroviškas / Not real at all

12. Kiek jūsų potyriai virtualiojoje aplinkoje atitiko jūsų tikro pasaulio potyrius? / How much did your experience in the virtual environment seem consistent with your real world experience? *

1 2 3 4 5

Neatitinkantis / Not consistent

Atitinkantis / Very consistent

13. Kiek tikroviškas jums atrodė virtualusis pasaulis? / How real did the virtual world seem to you? *

1 2 3 4 5

Kaip įsivaizduojamas pasaulis
/ About as real as an imagined
world

Neatskiriamas nuo tikrojo
pasaulio / Indistinguishable
from the real world

14. Virtualusis pasaulis atrodė realesnis nei tikrasis pasaulis / The virtual world seemed more realistic than the real world. *

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku / Fully
disagree

Visiškai sutinku / Fully agree