

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ BAKALAURO STUDIJŲ PROGRAMA

**Virtualiosios realybės mokymosi aplinkų
panaudojamumas**

Usability of the Virtual Reality Learning Environments

Bakalauro baigiamasis darbas

Atliko: Andrej Kuznecov (parašas)

Darbo vadovas: doc. dr. Kristina Lapin (parašas)

Darbo recenzentas: doc. dr. Rimvydas Krasauskas (parašas)

Vilnius – 2020

Santrauka

Šiame darbe nagrinėjamas virtualiosios realybės mokymosi sistemų panaudojamumas. Atlikus literatūros analizę ir ištyrus egzistuojančias programas buvo nustatyta tinkamiausia įranga, apibrėžtos rekomendacijos ir sudaryti pagrindiniai funkciniai bei nefunkciniai reikalavimai, apibūdinantys tokio tipo sistemas. Pagal juos sukurta virtualiosios realybės mokymosi sistema, skirta suteikti naudotojui žinių apie algoritmų ir duomenų struktūrų universitetinio kurso rikiavimo algoritmus. Sukurta programų sistema buvo išbandyta vartotojų grupės ir surinkti teigiami atsiliepimai apie tokios technologijos pritaikymą, kurie parodo, jog tokios sistemos gali būti naudojamos mokymosi procese.

Raktiniai žodžiai: virtualioji realybė, panaudojamumas, rikiavimo algoritmai, mokymosi procesas

Summary

This bachelor thesis aims to investigate the usability of virtual reality learning environments. The main criteria together with functional and non-functionals requirements describing this type of systems were developed after analyzing related literature, choosing hardware which is the best fit, defining recommendations for use and examining the usability of existing virtual reality applications. Based on them, a virtual reality learning environment was created to provide the user with knowledge of data structures and algorithms university course's sorting algorithms. The developed application system was tested by a group of users and positive feedback was collected, which shows that such systems can be used to enhance the learning process.

Key words: virtual reality, usability, sorting algorithms, learning process

TURINYS

IVADAS.....	6
1. VIRTUALIOS REALYBĖS ĮRANGA IR NAUDOJIMAS	8
1.1. Virtualiosios realybės istorija.....	8
1.2. Virtualios realybės įrangos apžvalga.....	8
1.2.1. Oculus Rift S.....	8
1.2.2. HTC Vive.....	10
1.2.3. Samsung Gear VR	11
1.2.4. Google Cardboard VR	13
1.3. Virtualios realybės įrangos palyginimas	14
1.4. Apibendrinimas	15
2. VIRTUALIOS REALYBĖS NAUDOJIMO RIZIKOS IR GALIMOS PROBLEMOS .	16
2.1. Fizinės rizikos.....	16
2.1.1. Baimė ir rimti psichiniai sutrikimai	16
2.1.2. „Virtualios realybės liga“	16
2.1.3. Akių sveikata ir gylis suvokimas	17
2.1.4. Rekomenduojamas virtualios realybės įrangos naudojimo amžius	17
2.2. Apibendrinimas	18
3. VIRTUALIOS REALYBĖS MOKYMOSI APLINKŲ APŽVALGA.....	19
3.1. „Google Expeditions“ analizė	19
3.2. „Nanome“ analizė.....	20
3.3. Apibendrinimas	21
4. VIRTUALIŲ EDUKACINIŲ SISTEMŲ EURISTINIS VERTINIMAS	23
4.1. Virtualios realybės edukacinių sistemų panaudojamumo kriterijai	23
4.2. „Google Expeditions“ euristinis tyrimas	24
4.3. „Nanome“ euristinis vertinimas	27
4.4. Apibendrinimas	31
5. BŪSIMOS SISTEMOS APRAŠAS.....	32
5.1. Reikalavimai sistemai.....	33
5.1.1. Funkciniai reikalavimai:	34
5.1.2. Nefunkciniai reikalavimai	34

6. VIRTUALIOS REALYBĖS SISTEMAI SKIRTŲ KŪRIMO PRIEMONIŲ PALYGINIMAS	35
6.1. „Unity Game Engine“	35
6.2. „Amazon Lumberyard“	36
6.3. „Unreal Engine“	37
6.4. Apibendrinimas	38
7. EDUKACINĖS VIRTUALIOS REALYBĖS SISTEMOS REALIZAVIMAS	39
7.1. Sistemos būsenų aprašymas	39
7.2. Sistemos komponentų įgyvendinimas	41
7.3. Rekomendacijų ir reikalavimų įgyvendinimas	47
8. SUKURTOS VIRTUALIOSIOS REALYBĖS SISTEMOS TESTAVIMO REZULTATŲ ANALIZĖ	49
8.1. Klausimai vertintojams	49
8.2. Vertintojų charakteristikos	50
8.3. Vertinimo rezultatų analizė	51
8.4. Apibendrinimas	52
REZULTATAI	54
IŠVADOS	55
ŠALTINIAI	56
PRIEDAI	60
1 priedas. Sukurta virtualios realybės mokomoji sistema	60

Išvadas

Virtuali realybė – programinės įrangos pagalba sukurta dirbtinė aplinka, kuri vartotojui suteikia realybės pojūtį. Dažniausia jos forma yra virtualiosios realybės šalmas, kurį užsidėjęs vartotojas mato simuliaciją trijų dimensijų aplinkoje, ir tam tikri valdikliai, kuriais simuliacija yra valdoma ir joje atliekami tam tikri veiksmai [Bar19]. Nuo 2014-tųjų metų minėtas įrankis smarkiai populiarėja ir tampa vis labiau prieinamas naudotojams (mažėja jo kaina, didėja paklausa, pasiūla) [Mes19], todėl kyla klausimas, kaip virtualią realybę galima pritaikyti sferose, kur tai būtų prasminga. Viena iš tokių sferų yra mokymas kur dažnai yra efektyviai pritaikomos naujosios technologijos. Šiais laikais dauguma žmonių, ypač studentų, privalo išmokti didelį kiekį informacijos, todėl svarbu yra ieškoti ir įvertinti naujus būdus, kaip tas žinias veiksmingai įsisavinti. Vienas iš tokių būdų yra mokymosi aplinkos virtualios realybės pasaulyuose naudojimas, kas pagerina mokymosi patirtį ir aktyviai įtraukia vartotojus, padeda jiems išmokti bei atsiment informaciją [MFK17]. Vertinant šio žinių būdo įsisavinimą, nagrinėjamas tokių sistemų panaudojamumas (angl. *usability*) bei kūrimo būdai. Identifikavus mokymosi ir virtualiosios realybės aplinkoms skirtos panaudojamumo euristicas galima būtų paspartinti ir patobulinti šio mokymosi būdo pritaikymą bei naudojimą.

Darbe taikomi tyrimo ir projektavimo metodai: literatūros analizė, empirinis ir analitinis panaudojamumo tyrimai.

Darbo metu nagrinėjami A. Sutcliffe, B. Gault [SG04], M. B. Barbosa [BRM15], H. Langley [Lan17], F. Michael [Mic19] ir kiti tyrimai arba straipsniai, kuriuose aprašoma virtualiosios realybės sistemų kūrimo ir naudojimo gairės. Jos apibrėžia tokio tipo tinkamą sistemą, kuri suteikia naudotojui malonius pojūčius, supažindina jį su tam tikra informacija ir nekenkia fizinei arba psichologinei sveikatai. Literatūros analizėje surinktos gairės skirtos įvertinti esamus sprendimus, apibendrinti jų silpnąsias ir stipriąsias puses. Šiuo pagrindu suformuluoti reikalavimai sistemai ir euristicos prototipo analitiniam panaudojamumo vertinimui. Empiriniame prototipo panaudojamumo vertinime tikrinama, ar pritaikytos euristicos yra efektyvios ir kaip galima būtų jas tobulinti.

Darbe naudojami instrumentai yra virtualiosios realybės sistemoms kurti skirtas „Unity“ žaidimų variklis bei virtualiosios realybės įranga „Google Cardboard“. Instrumentai naudojami sukurti ir testuoti mokomąją sistemą.

Darbo tikslas – identifikuoti mokymosi turinio įsisavinimą gerinančius principus ir pritaikyti juos edukacinėje virtualios realybės programų sistemoje, kuri, teikdama malonius potyrius, įtrauktų naudotoją į algoritmų ir duomenų struktūrų kurso rikiavimo algoritmų mokymąsi.

Šiam tikslui pasiekti iškelti tokie uždaviniai:

1. Apžvelgus literatūrą, išnagrinėti virtualiosios realybės įrangos ir edukacinių sistemų panaudojamumo gaires.
2. Įvertinti esamų virtualią realybę integruojančių mokymosi aplinkų panaudojamumą.
3. Suformuluoti kuriamos aplinkos būsimą naudojimo scenarijų.
4. Specifikuoti virtualią realybę integruojančių mokymosi aplinkų naudotojų reikalavimus.
5. Suprojektuoti ir sukurti mokymosi aplinkos, integruojančios virtualią realybę, prototipą.
6. Įvertinti prototipo pananaudojamumą ištestavus jį su vartotojais.

1. Virtualios realybės įranga ir naudojimas

1.1. Virtualiosios realybės istorija

Virtuali realybė (toliau – VR) – programinės įrangos sukurta simuliacija, kuri atvaizduoja trimatę aplinką ir imituoja vartotojo fizinį buvimą joje. Nors pirmoji veikianti technologija atsirado dar 1960-taisiais, virtuali realybė smarkiai išpopuliarėjo tik nuo 2014-tųjų metų, kai buvo išleisti tokie įrenginiai kaip „Oculus Rift“ ir „HTC Vive“ [Mes19]. Dažniausias šios technologijos panaudojimas yra prie asmeninio kompiuterio prijungti virtualios realybės akiniai, kurie uždengia visą žmogaus akiratį ir per aukštos raiškos ekranus rodo tam tikrą simuliuotą vaizdą. Akiniuose esantys davikliai siunčia signalus kompiuteriui apie asmens judėjimą erdvėje ir taip judėjimas realybėje atkartojamas ir simuliacijoje. Dalis VR sistemų turi pultelius, kuriuos paėmęs į rankas žmogus gal ne tik stebėti vaizdą, tačiau ir atlikti tam tikrus fizinius veiksmus toje simuliacijoje, pvz. paimiti į rankas teptuką ir su juo piešti ant popieriaus lapo.

Šiuo metu virtualios realybės dažniausias panaudojimas yra kompiuteriniai žaidimai ir kitos pramogos, tačiau manoma, kad ji turi perspektyvų pritaikymą ir kitose srityse.

1.2. Virtualios realybės įrangos apžvalga

1.2.1. Oculus Rift S

„Oculus Rift S“ – viena populiariausių ir naujausių įrangų VR pasaulyje (žr. 1 pav.). Įrenginys, išleistas 2019, yra tiesioginis ankstesnės versijos „Oculus Rift“ atnaujinimas. Jį sudaro virtualios realybės šalmas, ir du sekami valdikliai, kurie turi penkis laisvės laipsnius (visame 1.2.1. punkte remtasi [Ocu19]).

„Oculus Rift S“ VR akiniai naudoja vieną mažo pastovumo LCD ekraną, kurio skiriamoji geba yra 2560x1440 pikseliai ir atsinaujinimo dažnis yra 80 Hz. Šių akinių suteikiamas stebėjimo laukas yra 94 laipsniai vertikalčiai ir 95 laipsniai horizontalčiai. Įrenginyje taip pat veikia atstumo tarp vyzdžių sekimo sistema, kuri suteikia gylio pojūtį kuriamam vaizdui. Akiniuose yra naudojami tokie mechanizmai kaip artumo sensorius, giroskopas, garso sistema ir akselerometras.

Penki vidiniai sensoriai įgalina „Oculus Insight“ technologiją, kuri leidžia gyvai sekti žmogaus poziciją be jokių papildomų išorinių kamerų. Vidiniai sensoriai skenuoja aplinką, sugeneruoja trijų matmenų planą ir sujungia jį su akselerometro ir giroskopo duomenimis, taip apskaičiuodami tikslią akinių buvimo vietą erdvėje.

Du rankose laikomi valdikliai, vadinami „Oculus Touch“, leidžia virtualioje erdvėje atlikti rankų ir pirštų judesius. Ant valdiklių yra trys sensoriniai mygtukai ir du gaidukai. Mygtukai išsidėstę taip, kad juos galima būtų liesti nykščiu, rodomuoju pirštu ir kitais trimis, o gaidukai skirti paspaudimams ir veiksmų atlikimui virtualioje realybėje.

„Oculus Rift S“ virtualios realybės akiniai yra prijungiami prie asmeninio kompiuterio, kurio komponentai įgalina pilną programinės ir techninės įrangos veikimą. Rekomenduojamos kompiuterio specifikacijos, užtikrinančios optimalų akinių veikimą:

- Viena DisplayPort išvestis.
- Viena USB 3.0 jungtis.
- Windows 10 operacinė sistema.
- 8 GB arba daugiau operatyviosios atminties.
- „NVIDIA GTX 1060“ / „AMD Radeon RX 480“ galingumą atitinkanti arba galingesnė vaizdo plokštė.
- „Intel i5-4590“ / „AMD Ryzen 5 1500X“ galingumą atitinkantis arba galingesnis procesorius.



1 pav. „Oculus Rift S“ įrankis

„Oculus Rift“ panaudojimas:

- Kompiuteriniai virtualios realybės žaidimai – pagrindinė sistemos naudojimo funkcija. Šiuo metu sistemai yra sukurta apie 50 skirtingų žaidimų, kurie yra priskiriami trimis tipams: natūralaus judėjimo, kai žmogus gali žaisti judindamas tik galvą, kabinos judėjimo, kai žaidėjas atlieka veiksmus valdikliais, ir dirbtinio judėjimo, kai asmuo keičia padėtį virtualioje erdvėje pasitelkdamas šalmą ir valdiklius.
- Kinas – programų sistema „Oculus Cinema“ leidžia žiūrėti trijų matmenų ir pilno akiračio virtualios realybės filmus su aplinkinio garso technologija.
- Mokslas ir realių situacijų simuliacijos – sistema pradedama plačiai naudoti mokymosi tikslams mokyklose ir universitetuose. Įtraukianti virtuali realybė efektyviai atkartoja tokias situacijas kaip anatominiai ar fiziologiniai tyrimai, operacijos, automobilių vairavimai. Pasak

sistemos kūrėjų, perspektyviausios sritys, kuriose „Oculus Rift“ gali būti naudojamas mokymosi tikslams, yra medicina, architektūra, rinkodara, ir informacinių technologijų mokslai.

1.2.2. HTC Vive

„HTC Vive“ – antras pagal populiarumą virtualios realybės įrankis, kuris yra skirta asmeniniams kompiuteriams (žr. 2 pav.). Rinkinys buvo išleistas 2016 ir jį sudaro virtualios realybės akiniai su erdvinio garso sistema ir mikrofonu, du valdikliai, skirti juos laikyti rankose ir du judesio sekimo sensoriai. Valdiklių ir virtualios realybės akinių sekimo plotas yra apribotas sensoriais ir gali būti nuo 1.5 m x 1.5 m iki 4.5m x 4.5 m, bei turi šešis laisvės laipsnius (visame 1.2.2. punkte remtasi [HTC19]).

„HTC Vive“ virtualios realybės akiniai sudaryti iš dviejų OLED technologijos vaizduoklių, kurių skiriamoji geba yra 1440 x 1600 (bendrai – 2880 x 1600) pikseliai ir atsinaujinimo dažnis yra 90 Hz, be to akiniai suteikia 110 laipsnių įstrižinės matymo lauką. Efektyviam pozicijos pokyčio sekimui ir jo tikslumui yra įtaisyti artumo sensorius ir kamera, akselerometras, magnetometras ir giroskopas. Akiniai turi būti laidu prijungti prie asmeninio kompiuterio tam, kad pilnai vykdytų visas savo funkcijas.

Valdikliai „Vive Controllers“ skirti naudotojui juos laikyti rankose ir su jų pagalba sąveikauti su virtualia realybe. Jie turi foto sensorius, pagal kuriuos nustatoma jų pozicija ir įvestis, lietimui skirtą plotą, du mygtukus iš šonų ir gaiduko pavidalo ženkliuką, kurie leidžia lietimo pagalba atlikti tam tikrus veiksmus virtualioje realybėje.

Sekimo sistema „Vive Lighthouse“ yra sudaryta iš dviejų skenerio stotelių, patalpintų stebimo ploto kampuose ir iš LED lempučių masyvo. Stotelės skenuoja aplinką 60 kartų per sekundę dažniu ir aptinka foto-sensorius, kurie yra virtualios realybės akiniuose ir valdikliuose. LED lempučių masyvas apšviečia visą sekimo plotą prieš kiekvieną skenerio suveikimą ir „HTC Vive“ akiniai užfiksuoja šį tikslų laiką ir tada momentą, kai skenerio lazeriai pasiekia foto-sensorius. Abi stotelės veikia pakaitomis, pirma stotelė atlieka vertikalų ir horizontalų erdvės šlavimą, tada suveikia kita stotelė. Tokia technologija leidžia pusės milimetro tikslumu nustatyti tikslią virtualios realybės akinių ir valdiklių poziciją bei orientaciją bet kuriame sekamos erdvės taške. Abi stotelės negali būti judinamos po pradinės sąrankos, o pajudintos privalo būti nustatytos iš naujo, ir reikalauja papildomo maitinimo šaltinio.

„HTC Vive“ sistema, dėl techninio sudėtingumo ir milžiniško reikiamų skaičiavimų kiekio, reikalauja aukštos specifikacijos asmeninio kompiuterio su galingu grafiniu procesoriumi.

Rekomenduojama kompiuterio specifikacija yra tokia:

- „NVIDIA GeForce GTX 1070“ galingumą atitinkantis arba geresnis grafinis procesorius.
- „AMD FX 8350“ / „Intel Core i5-4590“ galingumą atitinkantis arba geresnis procesorius.

- 4 GB arba daugiau operatyviosios atminties.
- Display Port 1.2 arba naujesnė vaizdo išeitis
- Viena USB 3.0 arba naujesnio tipo įeitis.
- Windows 10 operacinė sistema



2 pav. „HTC Vive“ įrankis

„HTC Vive“ naudojimas

• Kaip ir „Oculus Rift“, šios sistemos pirminis panaudojimo būdas yra kompiuteriniai VR žaidimai ir įvairios patirtys. Šiuo metu šiai sistemai yra išleista apie 430 skirtingų žaidimų.

• Programa „Vive Cinema“ leidžia žiūrėti tiek dvimačius, tiek trijų matmenų filmus ir kitus vaizdo įrašus.

• Švietimo tikslams „HTC Vive“ technologija yra pradėta naudoti tokiose sferose kaip aviacija, laivyba, architektų apmokymai. Programa „ENGAGE“ suteikia pamokų rinkinį virtualioje erdvėje, kur yra sujungiami edukaciniai filmukai bei simuliuojamos erdvės.

1.2.3. Samsung Gear VR

„Samsung Gear VR“ yra mobilūs virtualios realybės akiniai, kurie yra skirti „Samsung Galaxy“ išmaniesiems įrenginiams, ir tam, kad juos naudoti, nėra reikalingas asmeninis kompiuteris (žr. 3 pav.). Šiuo atveju akiniai yra tik laikiklis, į kurį įdėjus išmanųjį telefoną jie tampa veikiančiu virtualios realybės įrenginiu. Įrenginys telefono ekraną perskiria į dvi dalis, taip atvaizduodamas stereoskopinį vaizdą, ir įjungia telefono mažo pastovumo režimą. Taip pat, akiniai gali išnaudoti visas įprastas telefonų galimybes, tokias kaip „Bluetooth“ ryšys su kitais įrenginiais ir sensorių duomenys (visame 1.2.3. punkte remtasi [Sam19]).

„Samsung Gear VR“ palaiko visus „Samsung Galaxy“ išmaniuosius telefonus, nuo „Galaxy Note 4“, išleisto 2014-taisiais, iki „Galaxy S10+“, išleisto 2019-taisiais. Kadangi akinių vaizdo

kokybė priklauso nuo išmaniojo telefono, skiriamoji geba gali svyruoti nuo 1920 x 1080 pikselių (960 x 1080 kiekvienai akiai), naudojant „Galaxy A8“ išmanųjį telefoną, iki 3040 x 1440 pikselių (1520 x 1440 kiekvienai akiai), naudojant „Galaxy S10+“. Procesorių ir grafinių plokščių galingumas taip pat priklauso nuo kiekvieno modelio. Nepriklausomai nuo mobiliojo įrenginio, virtualios realybės režime veikiantis ekranas perjungiamas į mažo pastovumo režimą, todėl jis veikia 60 Hz dažniu. „Samsung Gear VR“ akinių didžiausias matymo kampas yra 96 laipsniai įstrižai.

Virtualios realybės akiniai turi viduje įmontuotus judesio sensorius, tokius kaip akselerometras, giroskopas ir atstumo jutiklis. Pastarasis numato, kada akiniai yra uždedami ant žmogaus veido, ir automatiškai prijungtame telefone įjungia netrukdyimo režimą. Akinius nusiėmus, šis režimas yra išjungiamas ir sustabdoma tuo metu veikianti programėlė, kas taupo telefono bateriją. Akiniuose taip pat yra įtaisytas jutimo pultas, kuris naudojamas įvesčiai ir turi du mygtukus garso reguliavimui ir du sisteminius mygtukus, valdančius įrenginio veikimo būseną.

Papildomas „Samsung Gear VR“ įrankis yra valdiklis, skirtas jį laikyti rankoje. Jis turi jutimo pultą viršutiniame centre, du sisteminius mygtukus apačioje, du garso reguliavimo mygtukus iš šonų ir gaiduką apatinėje įrenginio pusėje. Valdiklis sekamas trijose laisvės laipsniuose, tačiau yra sekama tik jo orientacija, nors to užtenka paprastų veiksmų imitacijai virtualioje erdvėje.

Virtualiosios realybės akinių veikimo paprastumas ir mobilumas yra svarbus pranašumas prieš kitus VR įrenginius, kurių veikimui yra privalomas galingas asmeninis kompiuteris ir kurių veikimo plotas yra apribotas.



3 pav. „Samsung Gear VR“ įrankis

„Samsung Gear VR“ naudojimas:

- Plačiausias šio įrenginio panaudojimo scenarijus, kaip ir kitų virtualios realybės įrangų, yra žaidimai ir unikalios erdvinės patirtys. Šiuo metu tokių programėlių yra sukurta šimtai ir jų skaičius vis auga.

- Šie akiniai yra naudojami tiek dvimačių, tiek trimačių bei erdvinių vaizdo įrašų peržiūrai. Šiuo atveju tai, jog vaizdo šaltinis yra išmanusis telefonas tampa privalumu, nes yra įmanoma pasinaudoti tokiomis programėlėmis kaip „Youtube“ arba „Netflix“, kurios leidžia pasiekti milžinišką kiekį įvairaus tipo vaizdų.

- „Samsung Gear VR“, dėl savo mobilumo, sąrankos paprastumo ir žemos kainos, šiuo metu yra labiausiai naudojamas virtualios realybės prietaisas mokymosi tikslams. Akiniai naudojami įvairiai, pavyzdžiui, tam, kad įtraukti pradinių klasių moksleivius į tokias veiklas kaip kalbų mokymasis ir geografija, arba su programos „Labster“ pagalba leistų studentams atlikti sudėtingus laboratorinius eksperimentus su pažangiausia įranga virtualiame pasaulyje.

1.2.4. Google Cardboard VR

„Google Cardboard“ yra virtualios realybės platforma, 2014 metais sukurta „Google“ (žr. 4 pav.). Šie akiniai yra skirti visiems „Android“ ir „iOS“ operacines sistemas naudojančioms mobiliesiems telefonams, kurie palaiko virtualios realybės atvaizdavimo funkciją ir kurių įstrižainė yra mažesnė už 15,24 cm. Juos naudojant, nėra reikalingas asmeninis kompiuteris arba kita papildoma įranga. „Google Cardboard“ iš kitų aprašytų VR sistemų skiriasi tuo, jog akiniai yra padaryti iš kartono ir gumos, savyje neturi jokios papildomos įrangos. Naudotojai, įtaisę savo mobilųjį įrenginį į „Google Cardboard“ vidų ir užsidėję akinius, su virtualios realybės sistema gali sąveikauti paspausdami mygtuką akinių kampe, kuris savo ruožtu „paliečia“ įstatyto telefono ekraną. „Google Cardboard“ telefono ekraną perskiria į dvi dalis, taip atvaizduodamas stereoskopinį vaizdą, ir įjungia telefono mažo pastovumo režimą.

Panašiai kaip ir prieš tai aprašyto „Samsung Gear VR“, virtualiosios realybės platformos „Google Cardboard“ vaizdo kokybė priklauso nuo naudotojo mobiliojo įrenginio ekrano kokybės, gali svyruoti nuo 1920x1080 pikselių (960x1080 kiekvienai akiai) iki 3040x1440 pikselių (1520x1440 kiekvienai akiai). „Google Cardboard“ akinių didžiausias matymo kampas yra 90 laipsnių įstrižai.

„Cardboard SDK“ (programinės įrangos kūrimo rinkinys) 2019 metų rudenį buvo išleistas atviro kodo pavidalu ir jo pagalba naudotojai gali kurti „Google Cardboard“ programų sistemas „Android“ telefonams (naudojama programavimo kalba „Java“), „Unity“ variklio žaidimams (naudojama programavimo kalba „C#“), bei „iOS“ telefonams (naudojama programavimo kalba „Objective-C“). Kodo atvirumas užtikrina, jog programinės įrangos kūrimo rinkinys yra

tobulinamas ir atnaujinamas ne tik kūrėjų, bet ir savanorių, kurie yra suinteresuoti kurti virtualios realybės sistemas „Google Cardboard“ platformai.

„Google Cardboard“ naudojimas:

- Kitaip negu prieš tai aprašyti įrenginiai, pagrindinis šios platformos panaudojamumas nėra žaidimai, o vaizdinės pažintinės bei edukacinės sistemos, tokios kaip „Google Street View“, „Youtube 360 Video Channel“, „Google Expeditions“ ir kitos.
- Visi naudotojai į savo „Android“ arba „iOS“ mobiliuosius telefonus, su kuriais ketina naudotis šia sistema, gali parsisiųsti „Cardboard“ aplikaciją, kuri pagreitina ir supaprastina naujų virtualios realybės sistemų atsisiuntimą ir veikimą.



4 pav. „Google Cardboard“ įrankis

1.3. Virtualios realybės įrangos palyginimas

Norint rasti tinkamą edukacinėms sistemoms skirtą virtualios realybės įrangą, reikia skirtingus įrenginius palyginti pagal kainą ir prieinamumą. Įrangos kaina turėtų būti kuo žemesnė, prieinamumas žmonėms – kuo didesnis.

Palyginimas pagal vidutinę kainą (2020 kovas).

1 lentelė. VR įrangos palyginimas pagal kainą

	Oculus Rift S	HTC Vive	Samsung Gear VR	Google Cardboard
Kaina	529 €	769 €	60 €	12 €

„Google Cardboard“ sistema yra pats pigiausias variantas (žr. 1 lentelė), kas yra svarbu, jeigu yra norima edukacinę sistemą pritaikyti įrangai, kuria galėtų pasinaudoti didžiausias skaičius žmonių.

Palyginimas pagal prieinamumą

- Oculus Rift S – veikimui yra reikalingas prijungtas aukšto lygio asmeninis kompiuteris, laisva erdvė, skirta patalpinti reikalingus sensorius ir naudotoją.
- HTC Vive – veikimui yra reikalingas prijungtas aukšto lygio asmeninis kompiuteris, laisva erdvė, skirta patalpinti reikalingus sensorius ir naudotoją.
- Samsung Gear VR – nereikalingas asmeninis kompiuteris, tačiau akiniai yra skirti dirbti tik su „Samsung Galaxy“ telefonais.
- Google Cardboard – skirti visiems „Android“ ir „iOS“ operacines sistemas naudojantiems mobiliesiems telefonams, kurie palaiko virtualios realybės atvaizdavimo funkciją ir kurių įstrižainė yra mažesnė už 15,24 cm.

Renkantis virtualiosios realybės įrangą, labiausiai tinkamą kurti edukacinę virtualiosios realybės sistemą, didžiausią prieinamumą turi tokios sistemos, kurių veikimui nereikia sujungimo su asmeniniu kompiuteriu, todėl „Oculus Rift S“ ar „HTC Vive“ neturėtų būti pirmas pasirinkimas.

Lyginant „Google Cardboard“ ir „Samsung Gear VR“, abiejų kurių veikimui užtenka paprasto išmaniojo telefono, didesnę prieinamumą turi „Google Cardboard“, nes ši įranga yra skirta visiems „Android“ ir „iOS“ operacinių sistemų mobiliesiems įrenginiams, o „Samsung Gear VR“ palaiko tik „Samsung“, kurie yra tik dalis visų „Android“ telefonų.

1.4. Apibendrinimas

Įvertinus aprašytas virtualiosios realybės sistemas pagal kainą ir prieinamumą, nuspręsta, jog „Google Cardboard“ įranga yra labiausiai tinkanti kurti edukacinę virtualiosios realybės sistemą. Ji yra pigiausia iš aprašytų ir turi plačiausią prieinamumą.

2. Virtualios realybės naudojimo rizikos ir galimos problemos

Prieš pradėdant gilinantis į virtualios realybės mokymosi sistemų panaudojamumą, verta pagalvoti, ar ši įranga yra saugi naudoti žmonėms. Šiame skyriuje yra įsigilinama į rizikas, kurios gali kilti, jeigu šią technologiją dažnai naudoja vaikai ir jaunesnio amžiaus asmenys.

2.1. Fizinės rizikos

2.1.1. Baimė ir rimti psichiniai sutrikimai

Įtraukiantis ir tikroviškas vaizdas naudotojams gali sukelti stiprius psichinius poveikius, tokius kaip baimė ir nerimas, kurie gali išsilaikyti netgi baigus naudotis virtualia realybe. Taip yra, nes žmogus daug labiau priima vaizdus ir įvykius, kai yra trimatėje erdvėje ir jaučiasi jos dalimi, o ne tiesiog stebėtoju, kaip būtų žiūrint į tokius pačius vaizdus ant ekrano arba nuotraukose. Tą ypač svarbu įvertinti kalbant apie galimą dažną virtualios realybės naudojimą jaunesnio amžiaus žmonių tarpe, kurie dažniausiai yra lengvai paveikiami įspūdžių [Lan17].

Ypatingais atvejais, nuo ilgo virtualios realybės naudojimo žmonėms gali susidaryti psichinės problemos, tokios kaip disociacija arba rimtas sutrikimas – depersonalizacija. Šie požymiai gali pasireikšti nuo egzistencinės krizės jausmo, kai žmogui atrodo, kad realybė yra simuliuota, neturinti prasmės ir vertės, iki depersonalizacijos būsenos, kai žmogus jaučiasi atitrūkęs nuo fizinio kūno ir jaučiasi išoriniu savo veiksmų stebėtoju [Sea16].

Parodyta, jog šių pojūčių ir sutrikimų galima išvengti, jeigu naudotojas virtualios realybės sistema naudojasi ne ilgiau negu vieną valandą ir po to daro bent trisdešimties minučių pertrauką. Bendras virtualios realybės sistemos naudojimo laikas per dieną žmogui neturėtų viršyti šešių valandų. Taip pat, šitie neigiami poveikiai dažniausiai pasireiškia vaikams iki 12 metų ir žmonėms, kurie dar prieš virtualiosios realybės sistemų naudojimą turėjo panašių psichinių problemų. Dėl šitų priežasčių, tokiems žmonėms sistemų naudojimas nerekomenduojamas [Hil16].

2.1.2. „Virtualios realybės liga“

Virtualios realybės ligos poveikis žmonėms, kurie naudoja virtualia realybe, pasireiškia panašiais simptomais kaip ir kitos judesio ligos (pvz. jūros liga): diskomfortas, galvos skausmas, pykinimas, nuovargis, pusiausvyros praradimas ir prakaitavimas [Kol95]. Skirtumas tarp šių dviejų ligų tipų ir tas, jog judesio ligos atveju žmogaus kūnas turi vizualiai matyti ir jausti savo arba aplinkos judėjimą, o virtualios realybės atveju užtenka tik matymo. Šis poveikis pasireiškia, nes žmogaus smegenys mato ir priima judėjimą – pavyzdžiui, staigų posūkį lenktynių metu – tačiau to nejaučia žmogaus raumenys, sąnariai ir vidinė ausis [MUR15]. Taip pat, naudojantis virtualia realybe, pasikeičia žmogaus matymo laukas (susiaurėja nuo 200 iki ~100 laipsnių), judėjimo paralaksas ir matymo kampas [GB08], kas taip pat prisideda prie smegenims neįprastų pojūčių.

„Virtualios realybės ligos“ pasireiškimo atvejai ir kaip jų galima išvengti:

- Neigiami pojūčiai sumažėja, kai virtualioje realybėje yra bent vienas statinis atskaitos taškas arba kai matymo laukas, regos kampas ir judėjimo galimybės yra suvienodinamos su žmogaus įprastais [Hen01].

- Dažniausiai šis efektas pasireiškia vaikams nuo 2 iki 12 metų ir nuo tada tampa vis retesnis [Bra75].

- Liga yra labiausiai galima pirmą kartą naudojant virtualios realybės įrangą ir jos pasireiškimo tikimybės ženkliai krenta įgaunant vis daugiau patirties [Uli86].

2.1.3. Akių sveikata ir gylio suvokimas

Virtualios realybės akinių naudojimas, kaip ir kiti ekranai, gali sukelti akių nuovargį, išsausėjimą ir paskatinti jau esančių akių defektų vystymąsi [Aba18]. Taip atsitinka todėl, kad žmogus, įsitraukęs į virtualią realybę, pradeda rečiau mirksėti ir taip akių išorinis sluoksnis išsausėja [Muk17] ir dėl to, jog ekranai yra taip arti akių, kad jos yra įtempusios artumo matymo raumenis, o matymo į tolį raumenys tuo metu neveikia [Lan17].

Dėl pastarojo poveikio buvo manoma, kad naudotojams gali išsivystyti trumparegystė, tačiau tai nepasitvirtino. Taip pat kol kas nėra įrodyta, jog naudojimas virtualios realybės akiniais kenkia akims ir gylio suvokimui, tačiau yra tikėtina, jog vaikams nuo 8 iki 12 metų, prieš naudojimą šia įranga turėjusiems problemų su pusiausvyra, aplinkos suvokimu ir gylio suvokimu, šie simptomai galėjo sustiprėti vos po 20 minučių naudojant virtualios realybės akinius. Galimai, tai įvyksta dėl to, jog vaikams yra sudėtinga orientotis nepažįstamoje virtualioje aplinkoje ir jie negali paliesti ir pajusti objektų, kuriuos mato – taip nėra lavinamas gylio suvokimas. Dėl šitų priežasčių, virtualios realybės sistemų naudojimas vaikams iki 12 metų nėra rekomenduojamas ir patariama apriboti tokių sistemų naudojimo laiką iki vienos valandos, jeigu naudotojas nedaro pertraukų. [Lan17].

2.1.4. Rekomenduojamas virtualios realybės įrangos naudojimo amžius

Virtualios realybės įrangą kuriančios įmonės išskiria rekomenduojamą mažiausią amžių jų produktų naudojimui [Bou18].

- „Google Cardboard“ – amžius nėra apribojamas, tačiau privaloma suaugusiųjų priežiūra.
- „Samsung Gear VR“ – prietaisas neturėtų būti naudojamas jaunesnių negu 13-ko metų vaikų.
- „Google Daydream View“ – prietaisas neturėtų būti naudojamas jaunesnių negu 12-ko metų vaikų.
- „Sony PlayStation VR“ – prietaisas neturėtų būti naudojamas jaunesnių negu 12-ko metų vaikų.

- „HTC Vive“ – prietaisas nerekomenduojamas naudoti mažiems vaikams. Tikslus amžius neapibrėžtas.

- „Oculus Rift“ – prietaisas neturėtų būti naudojamas jaunesnių negu 14-kos metų vaikų.

Galima pastebėti, jog beveik visa virtualios realybės įranga, dėl galimų sveikatos rizikų, yra rekomenduojamos naudoti tik nuo paauglystės (nuo 12-13 metų amžiaus).

2.2. Apibendrinimas

Virtualios realybės sistemų naudojimo rekomendacijos:

R1. Virtualios realybės sistemomis neturėtų naudotis jaunesni negu 12 metų vaikai ir asmenys, kurie turi rimtų psichinių problemų, susijusių su nerimu, disociacija ir depersonalizacija.

R2. Virtualios realybės sistema naudotis ne ilgiau negu vieną valandą ir po to padaryti bent trisdešimties minučių pertrauką.

R3. Norint išvengti „virtualios realybės ligos“ pojūčio, reikėtų rinktis programų sistemas, kurių veikimo metu naudotojas turėtų bent vieną statinį atskaitos tašką (pvz. kelis nejudančius objektus) ir kurių matymo laukas, regos kampas ir judėjimo galimybės yra suvienodinamos su žmogaus įprastais.

3. Virtualios realybės mokymosi aplinkų apžvalga

Šiame skyriuje analizuojamos ir aptariamos esamos virtualios realybės edukacinės sistemos ir iškeliama šių sistemų naudotojų poreikiai bei panaudojamumo projektavimo gairės.

3.1. „Google Expeditions“ analizė

„Google Expeditions“ yra virtualios realybės taikomoji programa skirta švietimui. Ji leidžia naudotojams išvysti ir patirti virš 1000 skirtingų simuliacijų, kurios apima žymiausias mūsų planetos vietas ir muziejus (žr. 5 pav.). Pavyzdžiui, asmenys, kurie naudoja „Google Expeditions“, gali savo akimis pamatyti Everesto kalno viršūnę ir tada nuspręsti apžiūrėti visą Luvro muziejų. Taip pat, šių virtualių ekspedicijų metu, žmogus gali pasirinkti matyti arba paslėpti langus su informacija, kuri apibūdina matomus vaizdus bei dalykus [Ber17]. Pasak „Google“, daugiau negu 1 milijonas moksleivių iš 11 skirtingų šalių jau dabar aktyviai naudoja „Google Expeditions“ savo istorijos, biologijos ir geografijos pamokose ir tiki, jog tai yra aktyvus, įtraukiantis ir įsimintinas mokymosi būdas [Cat16]. Tam, kad naudoti programą virtualios realybės režimu, yra reikalingas „Android“, „Chrome OS“ arba „Apple iOS“ operacines sistemas palaikantis išmanusis mobilus įrenginys, kuris turi bent 1 GB operatyviosios RAM atminties, giroskopą bei akselerometrą. Papildomai yra reikalingas „Google Cardboard“ virtualiosios realybės įrenginys, į kurio vidų yra įstatomas išmanusis telefonas arba planšetė. [Goo19]

Michael Fricano atliktame tyrime [Mic19] apie „Google Expeditions“ panaudojimą vienoje iš Honolulu miesto mokyklų pateikia apibendrintą šios virtualios realybės edukacinės sistemos vertinimą. Šitame tyrime dalyvavo mokinių ir mokytojų grupės, kurie šios sistemos pagalba du mėnesius mokė vaikus geografijos bei istorijos pamokų. Tyrime teigiama, jog mokiniams labiausiai patinka ir efektyviausiai įsimina pamokos, kurių metu jie:

G1. Laisvai tyrinėja teritorijas virtualioje realybėje (tai yra, sistema veikia „free-roaming“ principu, kai nėra nustatytas tikslus įvykių sekos scenarijus).

G2. Bet kada mato arba paslepia langus su informacija, kuri suteikia žinių apie matomus objektus, ir jaučia bendrą gilų įsinerimo jausmą.

G3. Sužino naujos informacijos ir kažko išmoksta.

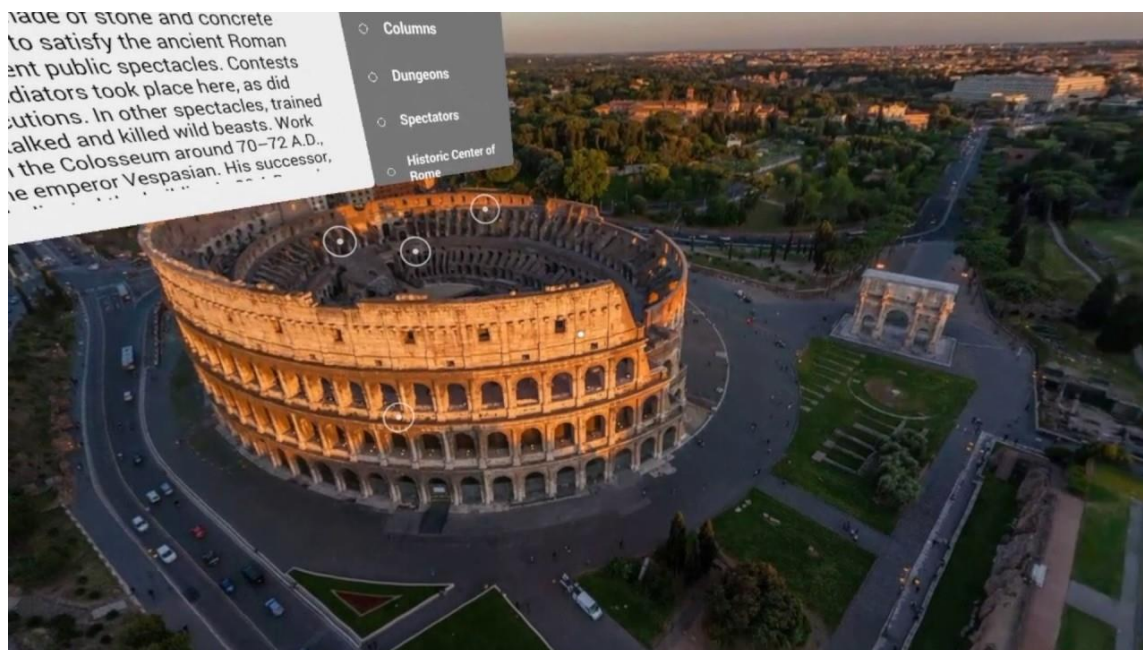
G4. Visos pamokos metu yra aišku, ką naudotojas gali daryti, o kas yra neleidžiama.

Taip pat tyrimas parodė, jog mokiniams svarbu tai, jog sistema yra:

G5. Paprasta ir intuityvi naudoti – nereikalauja instrukcijų bei apmokymų.

G6. Sistema veikia sklandžiai, naudotojai nejaučia kadrų per sekundę (angl. *frame drops*) kritimo, vaizdas visada atrodo vienodai.

G7. Virtualios realybės pasaulių „užkrovimas“ trunka labai trumpai, todėl mokiniai nejaučia vaizdinės delsos (angl. *lag*), kas padeda giliau įsinerinti į virtualaus pasaulio aplinką.



5 pav. „Google Expeditions“ ekrano nuotrauka

3.2. „Nanome“ analizė

„Nanome“ – virtualios realybės platforma, kurioje naudotojai gilinasi į nanotechnologiją, molekulinę struktūrą, cheminę inžineriją, ir elektroniką (žr. 6 pav.). Naudotojai virtualioje realybėje prieš savo akis mato, tobulina bei jungia įvairias žmogaus dydžio nanodaleles, kurių tikras atitikmuo nesiekia net vienos milijardinės metro dalies. Naudotojas importuoja į savo simuliaciją virtualias kopijas tikrų technologijų, tokių kaip telefonų mikroschemos ar kompiuterių procesoriai, ir jas tyrinėja, keičia bei mato, kokią įtaką tie pokyčiai daro sistemai. Be to, naudotojas arba naudotojų grupė kuria naujas nanodaleles ir jas paverčia į detalius brėžinius, kuriuos galima atspausdinti ant popieriaus. Sistema buvo sukurta „Unity“ kompiuterinių žaidimų kūrimo varikliu ir ji naudojama su „Oculus Rift“ ir „HTC Vive“ VR įrenginiais. [Nan19]

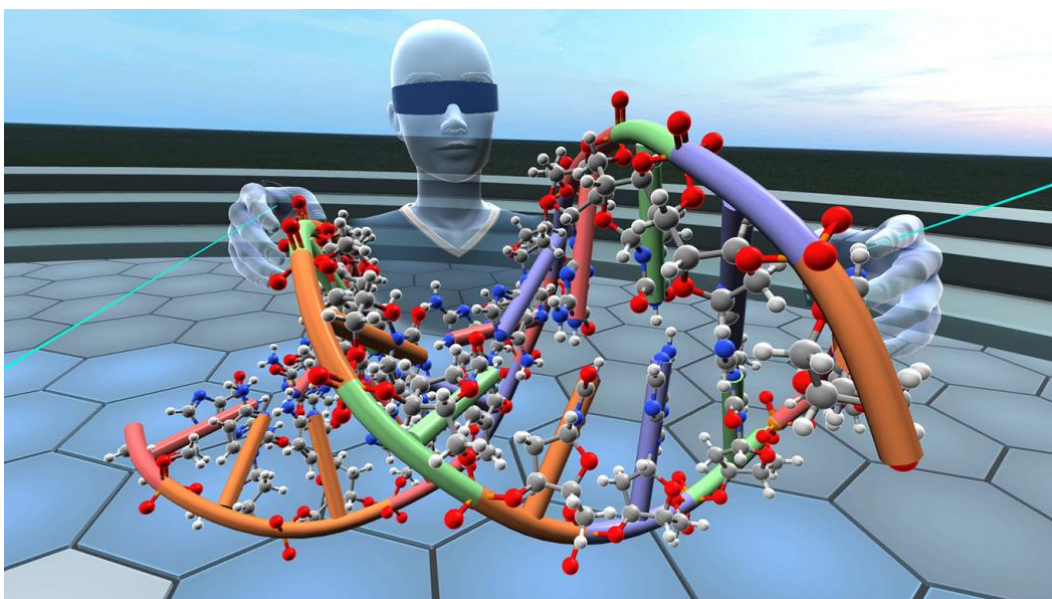
Laura J. Kingsley ir kt. tyrime [KBL19], kurio tikslas – „Nanome“ sistemos naudojimas efektyviam struktūrinių duomenų perdavimui tiriant vaistus, pateikti biologų grupės, kurie naudojo šią virtualios realybės sistemą, edukacinės programos panaudojamumo vertinimas. Pagal jį daroma išvada, jog „Nanome“ naudojimas tam tikriems molekulinėms struktūroms tyrimams mokslininkams patiko ir jie išsakė norą naudotis šia sistema su darbu susijusiais klausimais ir toliau. Taip pat buvo išskirti pagrindiniai panaudojamumo kriterijai, dėl kurių darbas su šia sistema biologus įtraukė labiausiai ir padėjo efektyviai atlikti tyrimus:

N1. Visos sistemos veikimo metu, naudotojas, paspaudęs mygtuką ant savo valdiklio, gali atsidaryti naršyklę, kurioje mato visas molekules, atomus, jų grandines ir kitus elementus, kuriuos gali pasirinkti ir su jais dirbti virtualiame pasaulyje. Taip pat naršyklėje naudotojai gali naviguoti sistemos meniu. Tai padaro sistemos naudojimą labai paprastu ir intuityviu.

N2. Naudotojas, sąveikaudamas su bet koku elementu virtualiame pasaulyje, gali keisti jo būseną. Tokių modifikacijų yra keturios rūšys: objekto kiekio keitimas (dauginimas, naikinimas, sujungimas su kitu, padalijimas), objekto pozicijos erdvėje kitimas, objekto cheminės sudėties keitimas (papildomų atomų pridėjimas arba šalinimas) ir objekto fizikinių savybių (masės, dydžio) keitimas. Paprasta visų šių būsenų keitimo galimybė padaro darbą su sistema greitu ir nesudėtingu naudotojams.

N3. Naudotojas bet kada gali išsaugoti savo darbą virtualioje sistemoje ir jį pratęsti, kada tik nori. Vienu metu naudotojai gali išsaugoti iki 1000 skirtingų darbų, be to, jais galima dalintis su kitais sistemą naudojančiais žmonėmis. Tai suteikia darbo lankstumo ir bendradarbiavimo efektyvumo, kai žmogus gali sustabdyti ir išsaugoti savo progresą bet kuriuo darbo metu, bei dalintis juo su kitais naudotojais.

N4. Naudotojas visada žino, su koku sistemos objektu sąveikauja pasinaudojęs virtualios realybės valdikliu, nes tokie elementai pakeičia savo spalvą. Tai padeda naudotojams nesuklysti pasirenkant objektus.



6 pav. „Nanome“ ekrano nuotrauka

3.3. Apibendrinimas

Išanalizavus įvairius virtualiųjų mokymosi aplinkų požymius išskirti šie kriterijai virtualiosios realybės edukacinėms aplinkoms.

Naudotojo lūkesčiai:

K1. Naudotojai visos sistemos veikimo metu turi žinoti, kokio tikslo jie siekia ir ką gali daryti, o ko – negali (G5, N4).

K2. Naudotojai turi galėti laisvai tyrinėti virtualią aplinką – neturi būti statinio veikimo scenarijaus (G1).

K3. Naudotojai turi sužinoti tam tikros informacijos ir kažko išmokti (G3).

K4. Naudotojai gali pasirinkti ar jie nori matyti papildomą informaciją ir bet kurio metu gali ją paslėpti (G2, N1).

K5. Naudotojams vartotojo sąsaja turi būti intuityvi ir paprasta, nereikalausti papildomų apmokymų (G4, N1, N2).

K6. Naudotojai bet kurio veikimo metu gali pasiekti meniu, kuriame gali naviguoti sistemos laukais (N1).

K7. Naudotojai turi galėti sąveikauti su virtualaus pasaulio objektais ir keisti jų būseną (N2, N4).

K8. Naudotojai turi galėti išsaugoti savo progresą virtualiame pasaulyje ir jį pratęsti arba pakartoti bet kuriuo kitu metu (N3).

K9. Naudotojas, sąveikaudamas su sistemos elementais, turi aiškiai tai suprasti – elementų būseną (spalva, dydis, forma) turi pasikeisti (N4).

Sistemos techniniai reikalavimai:

K10. Sklandus sistemos veikimas, pastovus kadrų per sekundę skaičius (G6).

K11. Greitas sistemos elementų užkrovimas tam, jog naudotojui nejaustų vaizdinės delsos (G7).

4. Virtualių edukacinių sistemų euristinis vertinimas

Šiame skyriuje pateikiami virtualios realybės edukacinių sistemų panaudojamumo kriterijai ir dviejų tokių sistemų euristiniai vertinimai, grindžiami edukacinėms sistemoms skirtoms euristikomis [BRM15]. Jos yra išskirtos į keturias grupes: sistemos veikimo eigą, naudojimo malonumas, sistemos funkcijų panaudojamumas ir edukacinės informacijos perdavimas. Buvo vertinami „Google Expeditions“ ir „Nanome“ virtualios realybės edukacinės sistemos.

4.1. Virtualios realybės edukacinių sistemų panaudojamumo kriterijai

Tyrime, skirtame įvertinti virtualios realybės sistemų panaudojumą [SG04] yra iškeliamą dvylika panaudojamumo kriterijų, kuriuos turi įgyvendinti sistema, kad naudotojas galėtų efektyviai ją suprasti, kontroliuoti, kažko išmokyti bei jaustų susidomėjimą tą darydamas. Šių euristikų aprašymas buvo paremtas Nielseno euristikomis [Nie94] ir praplėstas virtualių edukacinių sistemų panaudojamumo principais [Kaw99]. Pagal šias euristikas buvo sudarytas panaudojamumo kriterijų sąrašas:

PK1. Virtuali aplinka naudotojui vizualiai turi būti kuo panašesnė į realybę.

PK2. Sąveika su virtualaus pasaulio elementais turėtų kelti įmanoma labiau atitikti vartotojo lūkesčius dėl sąveikos su jais realiame pasaulyje.

PK3. Virtualioje mokymosi erdvėje naudotojas turi galėti elgtis ir tyrinėti natūraliai, jo įprasti fiziniai veiksmai neturėtų būti varžomi. Ši kriterijų gali apriboti naudojama įranga.

PK4. Naudotojo fiziniai judesiai virtualiame pasaulyje turi tiksliai atitikti judesius realybėje. Reakcijos laikas tarp naudotojo judėjimo ir virtualios sistemos atitinkamo pokyčio turi būti ne ilgesnis negu 200 milisekundžių, tam, kad būtų išvengta judesio ligos.

PK5. Naudotojo sąveika su objektais virtualiame pasaulyje turi būti nedelsiant matomi ir atitikti realaus pasaulio fizikos veiksnus ir naudotojo lūkesčius.

PK6. Virtualaus pasaulio atvaizdavimas turi būti pritaikytas prie naudotojo matymo lauko ir požiūrio taškas turi nuolat keistis atitinkamai pagal naudotojo galvos judesius.

PK7. Virtualios sistemos naudotojai visada turi turėti galimybę sužinoti, kur jie yra virtualioje aplinkoje, ir grįžti į žinomas, iš anksto nustatytas pozicijas.

PK8. Virtualios sistemos naudotojui būti aiškiai pranešama apie įėjimą į virtualų pasaulį ir išėjimą iš jo būdus.

PK9. Jeigu virtualioje sistemoje yra naudojami techninio dizaino kompromisai, jie turėtų būti nuoseklūs ir aiškiai pažymėti.

PK10. Virtualios sistemos aplinkos aktyvūs elementai naudotojui turi būti paprastai suprantami arba suteikti naudotojui informacijos apie save.

PK11. Jeigu virtuali sistema veikia ėjimų principu tarp naudotojo ir sistemos, naudotojas turi aiškiai suprasti, kada yra jo ėjimas, ir kada ne.

PK12. Virtualios sistemos naudotojas turėtų jaustis dalimi virtualaus pasaulio.

4.2. „Google Expeditions“ euristicinis tyrimas

Ši aplikacija yra viena populiariausių ir sėkmingiausių virtualiosios realybės edukacinių sistemų, todėl buvo nuspręsta ją išanalizuoti pasiremiant edukacinėms sistemoms skirtoms euristicomis [BRM15] ir atrinkti geriausias praktikas (žr. 2 lentelė).

2 lentelė. „Google Expeditions“ euristicinis vertinimas

Kategorija	Euristika	Vertinimas			Komentaras
		Taip	Ne	Neaktualu	
Sistemos veikimo eiga	Naudotojas jaučia malonumą sąveikaudamas su sistema.	✓			Naudotojo sąveika su sistema yra įdomi ir unikali, kas kelia malonumą.
	Naudotojas neturi būti baudžiamas už klaidų darymą edukacinės sistemos veikimo metu.			✓	Naudotojas sistemoje negali daryti klaidų, nes nėra jokių sėkmės/nesėkmės scenarijų.
	Naudotojas sistemoje turi užsiimti įvairia veikla.	✓			Naudotojas gali rinktis iš daugybės įvairių „ekspedicijų“, kurias jis gali atlikti.
	Naudotojui sistemos veikimo tikslas yra aiškus.	✓			Naudotojas, pradėjęs sąveikauti su sistema, pamato trumpą paaiškinimą, kam sistema yra reikalinga ir kaip ja naudotis.
Naudojimo malonumas	Naudotojo sąveika su sistemos elementais turi būti aiški ir matoma.	✓			Naudotojas visada mato, su kuriais elementais jis gali sąveikauti.
	Naudotojas turi jaustis įsineręs į virtualų pasaulį.	✓			Įsinerimo jausmą naudotojas patiria visu sistemos naudojimo metu.

	Naudotojas turi jausti sistemos teikiamą paskatinimą sąveikauti su elementais.	✓			Naudotojas aiškiai mato, su kuriais sistemos elementais jis gali sąveikauti, nes jie yra paryškinti ir pakeičia savo spalvą, kai naudotojas į juos pažiūri.
	Naudotojo dėmesys turi būti patrauktas ir sutelktas ties sistema.	✓			Naudotojas nemato jokių pašalinių elementų, todėl visas dėmesys skiriamas tik sistemai.
	Naudotojas neturėtų atlikti veiksmų, kurie nėra įdomūs arba jam naudingi.	✓			Vienintelis veiksmas, kurį naudotojas gali atlikti sistemoje, yra virtualios „ekspedicijos“.
	Naudotojo dėmesys neturėtų būti nukreiptas nuo veiksmų, kuriuos jis nori atlikti.	✓			Naudotojo dėmesys nėra nukreipiamas.
Sistemos panaudojiamumas	Naudotojas turi galėti naudotis sistema be papildomų apmokymų.	✓			Naudotojui nėra reikalingi apmokymai, kad jis naudotųsi šia sistema.
	Naudotojas turi lengvai perprasti sistemos valdiklius.	✓			Naudotojas gali sąveikauti su vieninteliu sistemos valdikliu, todėl yra paprasta išmokyti jį naudotis.
	Naudotojas turi jausti malonumą mokydamasis naudotis sistema.	✓			Naudotojas jaučia malonumą, mokydamasis naudotis sistema.
	Naudotojas bet kurio sistemos veikimo metu turi galėti pasiekti meniu, kuriame galėtų naviguoti sistemos laukais.	✓			Naudotojas bet kada gali pasiekti meniu, kuriame gali naviguoti sistemos laukais.
	Naudotojas, pirmą kartą sąveikaudamas su sistema, turi sužinoti pakankamą	✓			Naudotojas, pirmą kartą pradėjęs sąveikauti su sistema, pamato trumpą paaiškinimą, kam

	kiekį informacijos, jog galėtų tęsti darbą.				sistema yra reikalinga ir kaip ją naudotis.
	Naudotojas turi jausti sistemos valdiklių kontroliavimo nuoseklumą.	✓			Naudotojo kontroliuojami valdikliai visos sistemos veikimo metu veikia nuosekliai.
Edukacinės informacijos perdavimas	Naudotojas turi jaustis skatinamas tyrinėti, spręsti problemas ir teirautis.	✓			Naudotojas sistemos veikimo metu gauna pasiūlymus, kokias „ekspedicijas“ jis galėtų patyrinėti toliau.
	Naudotojas, sąveikaudamas su sistema, turi sužinoti jam naudingos informacijos.	✓			Naudotojas sistemos veikimo metu sužino daug informacijos, susijusios su istorija, geografija, politika, architektūra.
	Naudotojo smalsumas yra skatinamas sistemai iškeliant tinkamus iššūkius, kuriuos jis turi spręsti.		✓		Naudotojas sistemoje nepatiria jokių smalsumą skatinančių iššūkių.
	Naudotojas turi galėti sąveikauti su visais sistemos edukaciniais elementais.	✓			Naudotojas bet kada gali sąveikauti su visais edukaciniais elementais (informaciniais laukais).
	Naudotojui sistemos tema yra aktuali ir atitinka mokymo plano arba tam tikros užduoties reikalavimus.	✓			Naudotojui sistemos tema yra aktuali, jeigu jis nori sužinoti apie istoriją, geografiją, politiką, architektūrą.
	Naudotojas turi galėti sistemoje kartoti jau matytas užduotis.	✓			Naudotojas gali bet kada pakartoti jau matytą „ekspediciją“.
	Naudotojas turi galėti naudotis sistema nepriklausomai nuo iš	✓			Naudotojas gali laisvai sąveikauti su sistema net neturėdamas žinių, susijusių su

	anksto turimų žinių, susijusių su sistemos tema.				istorija, geografija, politika, architektūra.
--	--	--	--	--	---

Atlikus analizę iš naudotojo pusės, buvo gauti rezultatai, kuriuos galima laikyti sėkmingos edukacinės virtualios realybės sistemos pavyzdžiu:

- Naudotojo sąveika su sistema yra įdomi ir unikali, kas kelia malonumą (PK1, PK2, PK12).
- Naudotojas gali rinktis iš daugybės įvairių „ekspedicijų“, kurias jis gali atlikti, kas veiklai suteikia įvairumo (K2).
- Naudotojas, pradėjęs sąveikauti su sistema, pamato trumpą paaiškinimą, kam sistema yra reikalinga ir kaip ją naudotis (K1, K5).
- Naudotojas visada mato, su kuriais elementais jis gali sąveikauti (K1, K7, K9, PK5).
- Įsinėrimo jausmą naudotojas patiria visu sistemos naudojimo metu (PK1, PK2, PK12).
- Naudotojas nemato jokių pašalinių elementų, todėl visas dėmesys skiriamas tik sistemai, jis niekada nėra nukreipiamas į pašalinius objektus (PK10).
- Naudotojas bet kada gali pasiekti meniu, kuriame galėtų naviguoti sistemos laukais (K6).
- Naudotojui nėra reikalingi apmokymai, kad jis naudotųsi šia sistema (K1, K5).
- Naudotojas lengvai perpranta sistemos valdiklius ir jie veikia nuosekliai (K5).
- Naudotojas sistemos veikimo metu sužino daug jam aktualios informacijos, susijusios su istorija, geografija, politika, architektūra (K3).
- Naudotojas gali bet kada pakartoti jau matytą „ekspediciją“ (K8).
- Naudotojas gali laisvai sąveikauti su sistema net neturėdamas žinių, susijusių su istorija, geografija, politika, architektūra (K5).

4.3. „Nanome“ euristinis vertinimas

Ši aplikacija yra viena plačiausiai naudojamų virtualiosios realybės edukacinių sistemų chemijos ir biologijos sferoje, todėl buvo nuspręsta ją išanalizuoti pasiremiant edukacinėms sistemoms skirtoms euristikomis [BRM15] ir atrinkti geriausias praktikas (žr. 3 lentelė).

3 lentelė. „Nanome“ euristinis vertinimas

Kategorija	Euristika	Vertinimas			Komentaras
		Taip	Ne	Neaktualu	
Sistemos veikimo eiga	Naudotojas turi jausti malonumą sąveikaudamas su sistema.	✓			Naudotojo sąveika su sistema yra įdomi ir unikali, kas kelia malonumą.

	Naudotojas neturi būti baudžiamas už klaidų darymą edukacinės sistemos veikimo metu.	✓			Naudotojas, padaręs klaidą, pamato pranešimą su informacija, kaip tos klaidos išvengti.
	Naudotojas sistemoje turi užsiimti įvairia veikla.	✓			Naudotojas turi labai platų veiklos pasirinkimą.
	Naudotojui sistemos veikimo tikslas yra aiškus.		✓		Naudotojui nėra pranešama, koks yra sistemos tikslas. Tą jis turi suprasti pats.
Naudojimo malonumas	Naudotojo sąveika su sistemos elementais turi būti aiški ir matoma.	✓			Naudotojas visada mato, su kuriais elementais jis gali sąveikauti.
	Naudotojas turi jaustis įsineręs į virtualų pasaulį.	✓			Naudotojas visada jaučia įsinerimą į virtualų pasaulį.
	Naudotojas turi jausti sistemos teikiamą paskatinimą sąveikauti su elementais.		✓		Naudotojas iš sistemos negauna paskatinimo sąveikauti su jos elementais.
	Naudotojo dėmesys turi būti patrauktas ir sutelktas ties sistema.	✓			Naudotojo dėmesys nėra nukreipiamas.
	Naudotojas neturėtų atlikti veiksmų, kurie nėra įdomūs arba jam naudingi.	✓			Naudotojas negali atlikti jokių nenaudingų veiksmų.
	Naudotojo dėmesys neturėtų būti nukreiptas nuo veiksmų, kuriuos jis nori atlikti.	✓			Naudotojo dėmesys nėra nukreipiamas.
Sistemos panaudojamas	Naudotojas turi galėti naudotis sistema be papildomų apmokymų.		✓		Naudotojas turi išmokti arba būti apmokytas naudotis sistema, kadangi ji yra sudėtinga ir turi daugybę funkcijų.

	Naudotojas turi lengvai perprasti sistemos valdiklius.		✓		Naudotojas gali užtrukti perprasti sistemos valdiklius, nes jų yra apie 15 skirtingų kombinacijų, kurios atlieka įvairias funkcijas priklausomai nuo aplinkybių.
	Naudotojas turi jausti malonumą mokymdamasis naudotis sistema.		✓		Naudotojas gali jausti susierzinimą mokymdamasis naudotis sistema, nes nėra jokių apmokymų arba paaiškinimų, kaip ji turėtų veikti.
	Naudotojas bet kurio sistemos veikimo metu turi galėti pasiekti meniu, kuriame galėtų naviguoti sistemos laukais.	✓			Naudotojas bet kada gali pasiekti meniu, kuriame galėtų naviguoti sistemos laukais.
	Naudotojas, pirmą kartą sąveikaudamas su sistema, turi sužinoti pakankamą kiekį informacijos, jog galėtų tęsti darbą.		✓		Naudotojas, pirmą kartą sąveikaudamas su sistema, negauna jokios papildomos informacijos, kuri padėtų jam pradėti dirbti.
	Naudotojas turi jausti sistemos valdiklių kontroliavimo nuoseklumą.	✓			Naudotojo kontroliuojami valdikliai visos sistemos veikimo metu veikia nuosekliai.
Edukacinės informacijos perdavimas	Naudotojas turi jaustis skatinamas tyrinėti, spręsti problemas ir teirautis.		✓		Naudotojas nėra skatinamas tyrinėti, spręsti problemas ir teirautis.
	Naudotojas, sąveikaudamas su sistema, turi sužinoti jam naudingos informacijos.	✓			Naudotojas sistemos veikimo metu sužino daug informacijos, susijusios su biologija, chemija, fizika.

	Naudotojo smalsumas yra skatinamas ir sistema iškelia tinkamus iššūkius, kuriuos jis turi spręsti.		✓		Naudotojas sistemoje nepatiria jokių smalsumą skatinančių iššūkių.
	Naudotojas turi galėti sąveikauti su visais sistemos edukaciniais elementais.	✓			Naudotojas bet kada gali sąveikauti su visais edukaciniais elementais.
	Naudotojui sistemos tema yra aktuali ir atitinka mokymo plano arba tam tikros užduoties reikalavimus.	✓			Naudotojui sistemos tema yra aktuali, jeigu jis nori sužinoti apie biologiją, chemiją, fiziką.
	Naudotojas turi galėti sistemoje kartoti jau matytas užduotis.	✓			Naudotojas bet kada gali kartoti jau atliktas užduotis.
	Naudotojas turi galėti naudotis sistema nepriklausomai nuo iš anksto turimų žinių, susijusių su sistemos tema.	✓			Naudotojas gali sąveikauti su sistema net neturėdamas žinių, susijusių su biologija, chemija, fizika.

Atlikus analizę iš naudotojo pusės, buvo gauti rezultatai, kuriuos galima laikyti sėkmingos edukacinės virtualios realybės sistemos pavyzdžiu:

- Naudotojo sąveika su sistema yra įdomi ir unikali, kas kelia malonumą (PK1, PK2, PK12).
- Naudotojas, padaręs klaidą, pamato pranešimą su informaciją, kaip tos klaidos išvengti, todėl jis nėra baudžiamas už klaidų darymą (K5).
- Naudotojas turi labai platų veiklos pasirinkimą (K2).
- Naudotojas visada mato, su kuriais elementais jis gali sąveikauti (K1, K7, K9, PK5).
- Naudotojas visada jaučia įsinėrimą į virtualų pasaulį (PK1, PK2, PK12).
- Naudotojo dėmesys nėra nukreipiamas (PK10).
- Naudotojas bet kada gali pasiekti meniu, kuriame galėtų naviguoti sistemos laukais (K6, K4).
- Naudotojo kontroliuojami valdikliai visos sistemos veikimo metu veikia nuosekliai (K5).

- Naudotojas sistemos veikimo metu sužino aktualios daug informacijos, susijusios su biologija, chemija, fizika (K3).
- Naudotojas bet kada gali kartoti jau atliktas užduotis (K8).
- Naudotojas gali sąveikauti su sistema net neturėdamas žinių, susijusių su biologija, chemija, fizika (K5).

4.4. Apibendrinimas

Ištyrus įvairias virtualios realybės edukacines sistemas pagal joms skirtas euristikas buvo gauti rezultatai, kurie leidžia apibrėžti geros sistemos kriterijus, kurie bus pritaikyti projektuojant mokomąją virtualios realybės edukacinę sistemą skirtą mokyti pagrindinių algoritmų ir duomenų struktūrų principų – rikiavimo algoritmų.

Naudotojų poreikiai

EB1. Sąveika su sistema naudotojui turi kelti malonumą, įsinėrimo jausmą bei suteikti aktualios informacijos.

EB2. Sistemos sąsaja su naudotoju turi būti intuityvi, minimalistinė ir aiški.

EB3. Sistema turi leisti naudotojui sąveikauti su visais edukaciniais objektais, kuriuos jis mato ir sąveika turi būti aiški.

EB4. Sistema turi leisti naudotojui laisvai tyrinėti aplinką.

EB5. Sistemoje atvaizduojama virtuali aplinka turi būti kuo panašesnė į realybę.

Nefunkciniai reikalavimai sistemai

ET1. Sistema turi veikti sklandžiai ir palaikyti pastovų kadrų per sekundę skaičių.

ET2. Sistema turi užkrauti elementus pakankamai greitai, kad naudotojas nejaustų vaizdinės delsos.

ET3. Reakcijos laikas tarp naudotojo judėjimo ir virtualios sistemos atitinkamo pokyčio turi būti ne ilgesnis negu 200 milisekundžių, tam, kad būtų išvengta judesio ligos.

5. Būsimos sistemos aprašas

Atlikus įvairių tyrimų, mokslinių straipsnių analizę bei pritaikius euristinius vertinimus virtualiosios realybės sistemoms „Google Expeditions“ ir „Nanome“ buvo gauti kriterijai, apibūdinantys gerai suprojektuotas VR mokymosi sistemas. Pagal juos buvo sudaryti būsimos sistemos naudojimo (žr. 4 lentelę) ir konteksto (žr. 2 lentelę) scenarijai.

4 lentelė. Sistemos naudojimo scenarijai

Eil. Nr.	Scenarijus	Kriterijai
1.	Pradėjęs naudotis sistema, naudotojas pamato naudojimosi instrukcijas ir gali pasirinkti vieną iš galimų su rikiavimo algoritmais susijusių lygių.	K1, EB2.
2.	Pasirinkęs lygį, naudotojas yra nukeliamas į virtualų pasaulį, kuriame yra atsitiktine tvarka išsidėstę kubai su skaičiais, vaizdą rodantis ekranas, lygio dekoracijos.	EB3, EB5, PK1.
3.	Naudotojais gali sąveikauti su visais elementais, kurie nėra dekoracijos – juos kilnoti, keisti jų poziciją, paleisti ir stabdyti vaizdą virtualiame ekrane.	K7, N2, N4, K9, PK2, EB4.
4.	Naudotojas yra supažindinamas su užduotimi – surikiuoti kubus su skaičiais pagal tam tikrą rikiavimo algoritmą, kurį jis pasirinko.	K1, K3, G5, N4, G1.
5.	Naudotojas gali sąveikauti su vaizdą rodančiu virtualiu ekranu ir jam bus parodytas pasirinktą algoritmą apibūdinantis filmukas. Naudotojas bet kada šį vaizdą gali sustabdyti arba paleisti iš naujo.	EB2, EB3, K3, G3, K4, G2, N1.
6.	Naudotojas gali sąveikauti su kubais, ant kurių yra užrašyti skaičiai, keisti jų poziciją ir bandyti juos išdėstyti pagal norimą rikiavimo algoritmą. Suklydęs naudotojas pamato, jog, baigus dėti kubus, nusidažo raudona spalva. Surikiavus taisyklingai – kubai nudažomi žaliai.	EB1, EB3, K7, N2, N4, PK5.
7.	Naudotojas bet kada gali pasiekti meniu, sąveikaudamas su gaublio formos elementu virtualiame kambaryje.	K6, K5, G4. N1, N2.
8.	Naudotojas meniu lange gali išsaugoti savo progresą arba pratęsti buvusį progresą.	K8, N3, N1.
9.	Naudotojas meniu lange gali iš naujo užkrauti dabartinį lygį, grįžti į pradinį meniu arba išeiti iš sistemos.	K6, N1.

10.	Naudotojas, taisyklingai sudėliojęs kubus su skaičiais pagal pasirinktą algoritmą, pamato pranešimą arba kitą vaizdinį atsaką, jog jis sėkmingai įvykdė užduotį. Čia jis gali pasirinkti tęsti veiklą virtualiame pasaulyje arba grįžti į pradinį meniu.	EB1, EB3, K3, G3.
-----	--	-------------------

4 lentelė. Sistemos konteksto scenarijai

Eil. Nr.	Scenarijus	Kriterijai
1.	Sistema veikia pirmuoju asmeniu.	PK1, PK6, PK12.
2.	Sistema supažindina naudotoją su savo tikslu ir tematika.	K1, G5, N4.
3.	Sistemos veiksmas vyksta trimatėje virtualioje erdvėje: parke, kuriame yra elementai, su kuriais naudotojas gali sąveikauti. Naudotojas negali palikti šios aplinkos.	PK2, PK1.
4.	Sistema leidžia naudotojui sąveikauti su visais matomais ne dekoratyviniais elementais jam paspaudus virtualiosios realybės įrenginio sąveikos mygtuką.	K7, N2, N4, K9, PK2, EB4.
5.	Sistema suteikia naudotojui visą pakankamą informaciją, kad jis galėtų įvykdyti užduotį ir įgyvendinti algoritmą.	K1, EB1, K5.
6.	Sistema naudotojui leidžia garsus, kai jis sąveikauja su visais elementais: kambario objektais arba meniu pasirinkimais. Taip pat foninė muzika grojo viso žaidimo metu.	EB1, K9, PK12, PK10.
7.	Užduotys yra mokomojo pobūdžio ir jų tikslas yra išmokyti naudotoją rikiavimo algoritmą.	K3, EB1.
8.	Jeigu naudotojui to prireikia, sistema vaizdiniu pavidalu teikia papildomą informaciją apie pasirinktą rikiavimo algoritmą.	EB2, EB3, K3, G3, K4, G2, N1.
9.	Sistema turi veikti sklandžiai ir palaikyti pastovų kadrų per sekundę skaičių.	ET1.
10.	Sistema turi užkrauti elementus pakankamai greitai, kad naudotojas nejautų vaizdinės delsos.	ET2.
11.	Reakcijos laikas tarp naudotojo judėjimo ir virtualios sistemos atitinkamo pokyčio turi būti ne ilgesnis negu 200 milisekundžių, tam, kad būtų išvengta judesio ligos	ET3.

5.1. Reikalavimai sistemai

Pagal šiuos kriterijus sudaryti reikalavimai būsimai sistemai.

5.1.1. Funkciniai reikalavimai:

FR1. Prasidėjus sistemos veikimui, naudotojas pradiniam meniu pasirenka norimą lygį arba galimybę išjungti sistemą.

FR2. Pasirinkęs lygį, naudotojas yra nukeliamas į virtualią aplinką, kurioje gali laisvai tyrinėti.

FR3. Naudotojas gauna vaizdinį atsaką, kai jis gali sąveikauti su objektu, į kurį žiūri.

FR4. Naudotojo veiksmai virtualiame pasaulyje sukelia garsinį ir vaizdinį atsaką.

FR5. Naudotojui nuspaudus virtualiojo įrenginio mygtuką, jis gali kilnoti keisti poziciją visų aplinkoje esančių daiktų, išskyrus vaizdą rodantį ekraną, už meniu įjungimą atsakingą gaublį, bei dekoracijas.

FR6. Sistema teikia naudotojui papildomos vaizdinės informacijos, jeigu to prireikia. Ją bet kada galima įjungti arba išjungti.

FR7. Teisingai išsprendus rikiavimo algoritmą, virtualūs kubai nusidažo žaliai ir naudotojui yra pranešama apie įvykdytą užduotį.

FR8. Neteisingai išsprendus rikiavimo algoritmą, virtualūs kubai nusidažo raudonai, kas suteikia naudotojui informacijos, jog užduotis įvykdyta nesėkmingai.

FR9. Naudotojas, paspaudęs ant virtualaus gaublio, bet kada gali pasiekti meniu, kuriame gali naviguoti sistemos laukais arba koreguoti išsaugoti, įkelti, perkrauti įvykdytą progresą.

5.1.2. Nefunkciniai reikalavimai

NFR1. Naudotojo veiksmai nėra varžomi ir jis gali sąveikauti su visais matomais elementais, kurie nėra dekoracijos.

NFR2. Sistemos lygių veiksmas vyksta virtualiuose lygiuose, kuriuose yra patalpinti objektai, suteikiantys naudotojui galimybę įgyvendinti rikiavimo algoritmą.

NFR3. Sistema veikia pirmuoju asmeniu.

NFR4. Sistemos užduotys yra mokomojo pobūdžio ir sistema suteikia pakankamai informacijos, jog tas užduotis įvykdyti neturint reikiamų žinių.

NFR5. Sistema skleidžia naudotojui malonius garsus, tokius kaip foninė muzika ir sąveikos su objektais garsai.

NFR6. Sistema veikia sklandžiai ir palaiko pastovų kadrų per sekundę skaičių.

NFR7. Sistemos veikimo metu naudotojas nejaučia vaizdinės delsos.

NFR8. Reakcijos laikas tarp naudotojo judėjimo ir virtualios sistemos atitinkamo pokyčio yra trumpesnis negu 200 milisekundžių.

6. Virtualios realybės sistemos skirtų kūrimo priemonių palyginimas

Šiame skyriuje aprašomos virtualios realybės edukacinių sistemų kūrimo priemonės, tokios kaip „Unity“, „Amazon Lumberyard“ ir „Unreal Engine“. Šios trys sistemos buvo išskirtos perskačius ir įvertinus Liza Brown straipsnį, kuriame autorė lygina geriausias ir populiariausias VR sistemų kūrimo aplinkas [Bro19]. Skyriuje pateikiami šių sistemų privalumai ir trūkumai. Apibendrinant skyrių yra pateikiami argumentai, kodėl buvo pasirinktas „Unity“ virtualiosios realybės sistemų kūrimo variklis.

6.1. „Unity Game Engine“

„Unity“ – nemokamas atvirojo kodo žaidimų variklis, skirtas daugiau negu 27 skirtingų platformų žaidimų kūrimui ir sukurtas „Unity Technologies“ įmonės. Šios sistemos pagalba galima sukurti asmeniniams kompiuteriams, žaidimų konsolėms, mobiliems įrenginiams ir internetiniams puslapiams skirtas programų sistemas. Žaidimų variklis gali būti naudojamas trimačių, dvimačių, papildytos realybės bei virtualios realybės programoms kurti. Dėl savo paprastumo ir galingumo, šis variklis taip pat yra pritaikomas ir sferose nesusijusiose su žaidimų kūrimu – kinematografijoje, architektūroje, inžinerijoje ir statybose. [Uni19]

2018 metais, daugiau negu 60% virtualiosios realybės žaidimų buvo sukurti šiuo žaidimų varikliu ir numatoma, kad šis skaičius augs [Bin18]. Žaidimų, kurie yra sukurti su „Unity“ varikliu, įrašymo skaičius siekia 28 milijardus ir jie yra pasiskirstę po 3 milijardus prietaisų visame pasaulyje. Tokio populiarumo priežastis – sistemos atvirumas visiems naudotojams ir jos paprastumas, dėl ko žaidimų kūrimas tampa paprastesniu, pigesniu ir greičiau įgyvendinamu procesu. Pats Unity variklis yra sukurtas C++ programavimo kalba, kuria parašytos sistemos veikia greitai, kas leidžia varikliui efektyviai atvaizduoti įvairias animacijas ir simuliuoti fizinius dėsnius.

„Unity“ variklio privalumai:

- Variklis palaiko ir yra optimizuotas 27 skirtingoms platformoms, todėl kuriamos sistemos gali būti efektyviai pritaikytos daugumai skirtingo tipo operacinių sistemų ir įrenginių.
- „Unity“ variklis susideda iš žaidimų projektavimui skirtų įrankių rinkinio bei technologijos, kuri sugeba atkurti vaizdą, garsą bei atlikti užduotis, kurios yra taisyklingos pagal fizikos dėsnius.
- Variklis leidžia sukurti paprastą žaidimo sistemą reikiamų elementų dėliojimo principu, kurio metu nereikia rašyti programinio kodo – tai padeda susipažinti su variklio naudojimu ir priprasti prie naudojimo sąsajos.
- Naudotojai savo sistemas gali kurti „C#“, „UnityScript“, dar vadinamu „Javascript for Unity“, ir „Boo“, kurios sintaksė yra panaši į „Python“, programavimo kalbomis ir pasinaudoti .NET karkasu.

- „Unity“ suteikia efektyvią ir intuityvią programų kūrimo aplinką, kuri palengvina naudotojo darbą.

- „Unity“ turi ir nuolatos atnauja dokumentaciją, kurioje yra detalieji aprašyti visi variklio elementai, kas palengvina naudotojų mokymąsi dirbti su sistema.

- Variklis turi didelę ir aktyvią kūrėjų bendruomenę, kurios nariai ne tik padeda vieni kitiems atsakinėdami į klausimus, bet ir nemokamai dalinasi savo sukurtais elementais bei sistemomis.

- „Unity“ turi prekyvietę, kur naudotojai gali pirkti ir parduoti savo sukurtus veikiančius žaidimų objektus, kad juos galėtų nusipirkti ir parsisiųsti kiti naudotojai.

- „Unity“ variklis yra labiausiai pritaikytas kurti virtualios realybės sistemas, lyginant su kitomis

„Unity“ variklio trūkumai:

- „Unity“ versijos yra atnaujinamos kas pusę metų, kas sugriauna atgalinį suderinamumą. Tai yra, kai senesnėje variklio versijoje sukurta sistema neveikia bandant ją paleisti su naujausia variklio versija.

- Norint kurti didelės apimties ir sudėtingos grafikos sistemas, reikia nusipirkti „Unity Enterprise“ licenciją, kas padidina sistemos kūrimo kaštus.

6.2. „Amazon Lumberyard“

„Amazon Lumberyard“ – nemokamas atviro kodo žaidimų variklis, skirtas kurti „Windows“, „Playstation“, „Xbox“, „iOS“, „Android“ ir virtualios realybės platformoms skirtas sistemas. Variklis yra išleistas „Amazon“ bei buvo sukurtas remiantis „CryEngine“ varikliu, kuris yra licencijuotas įmonės „Crytek“. Naudojimasis „Amazon Lumberyard“ yra visiškai nemokamas ir visos sukurtos sistemos automatiškai integruoja „Amazon Web Services“ debesų kompiuterijos platformą bei „Twitch“ gyvos vaizdo ir garso transliacijos sistemą [Uni20].

„Amazon Lumberyard“ privalumai:

- Variklis yra visiškai nemokamas. Net kuriant didelio masto sistemas, nereikia įsigyti papildomų licencijų, kas sumažina kūrimo kaštus.

- Variklio sukurtos sistemos palaiko populiariausias platformas – „Windows“, „Playstation“, „Xbox“, „iOS“ ir „Android“.

- Variklio kodas bei elementai yra detalieji dokumentuoti, kas palengvina naudotojų mokymąsi bei darbą.

- Variklis leidžia kurti aukščiausios kokybės ir didelės apimties sistemas, kas leidžia pasiekti realistišką vaizdo bei garso kokybę.

- „Amazon Web Services“ integracija suteikia variklio pagalbą sukurtooms sistemos palaikyti daugelio naudotojų prisijungimą vienu metu.

„Amazon Lumberyard“ trūkumai:

- Variklio sistemas galima kurti tik rašant „C++“ programavimo kalbos kodą, kas apriboja naudotojų darbo galimybes, jeigu jie šios kalbos nemoka.
- Variklis šiuo metu nėra populiarus tarp žaidimų kūrėjų, lyginant su „Unity“ arba „Unreal Engine“, todėl sunku rasti naudingos informacijos bendruomenės forumuose.
- Variklio versijos yra atnaujinamos kas kelis mėnesius, kas sugriauna atgalinį suderinamumą.

6.3. „Unreal Engine“

„Unreal Engine“ – vienas iš populiariausių nemokamų dalinai – atviro kodo žaidimo variklių, sukurtas įmonės „Epic Games“ 1998 metais. Naujausia šio variklio versija – „Unreal Engine 4“, buvo išleista 2014 metais ir yra dažnai atnaujinama bei tobulinama. Šios sistemos pagalba galima sukurti asmeniniams kompiuteriams, žaidimų konsolėms, mobiliems įrenginiams ir internetiniams puslapiams skirtas programų sistemas. Žaidimų variklis gali būti naudojamas trimačių, dvimačių, papildytos realybės bei virtualios realybės programoms kurti. Taip pat, variklis palaiko 20 platformų ir juo galima kurti įvairaus dydžio sistemas – nuo paprastų projektų iki žaidimų industrijos lyderių. Variklis yra dalinai–atviro kodo tipo, nes naudotojai gali jį parsisiųsti ir matyti kodą, tačiau negali jo koreguoti ir keisti, o tik pildyti [Dea20].

„Unreal Engine“ privalumai:

- Variklis leidžia naudotojui kurti aukščiausios vaizdo grafikos sistemas – geresnės už kitus aprašytus žaidimo variklius.
- Variklio sukurtos sistemos gali veikti 20-tyje skirtingų platformų.
- Taip pat kaip „Unity“, „Unreal Engine“ naudotojai gali parduoti savo sukurtus veikiančius žaidimų objektus, kad juos galėtų nusipirkti ir parsisiųsti kiti naudotojai.
- Variklyje yra integruotas procesų stebėtojas, kuris suteikia naudotojui informacijos apie vaizdo plokštės, procesoriaus, sistemos atminties naudojimo matavimus.

„Unreal Engine“ trūkumai:

- Variklio sistemas galima kurti tik rašant „C++“ programavimo kalbos kodą, kas apriboja naudotojų darbo galimybes, jeigu jie šios kalbos nemoka.
- Variklio sukurtos sistemos nėra optimizuotos automatiškai, todėl naudotojas turi puikiai išmanyti optimizavimo principus, norėdamas, jog sukurtos sistemos veiktų sklandžiai.
- „Unreal Engine“ teikiama programų kūrimo aplinka nėra užbaigta kurti, todėl naudotojai dažnai patiria tokias problemas kaip staigus sistemos išsijungimas bei pakeitimų praradimas.

6.4. Apibendrinimas

Aprašius tris žaidimų variklius ir ištyrus jų privalumus bei trūkumus, būsimai virtualiosios realybės sistemai kurti buvo pasirinkta „Unity“. Sprendimas priimtas dėl to, jog variklis yra detalai dokumentuotas, jo pagalba sukurtos sistemos veikia visose platformose ir yra optimizuotos veikti sklandžiai (kitaip, negu „Unreal Engine“), leidžia parsisiųsti ir implementuoti veikiančius komponentus, turi aktyvią ir didelę kūrėjų bendruomenę (kitaip, negu „Amazon Lumberyard“). Taip pat, kuriant „Unity“ sistemas, reikia turėti patirties su „C#“ bei „Javascript“ programavimo kalbomis, kas atitinka teksto autoriaus kompetencijas.

7. Edukacinės virtualios realybės sistemos realizavimas

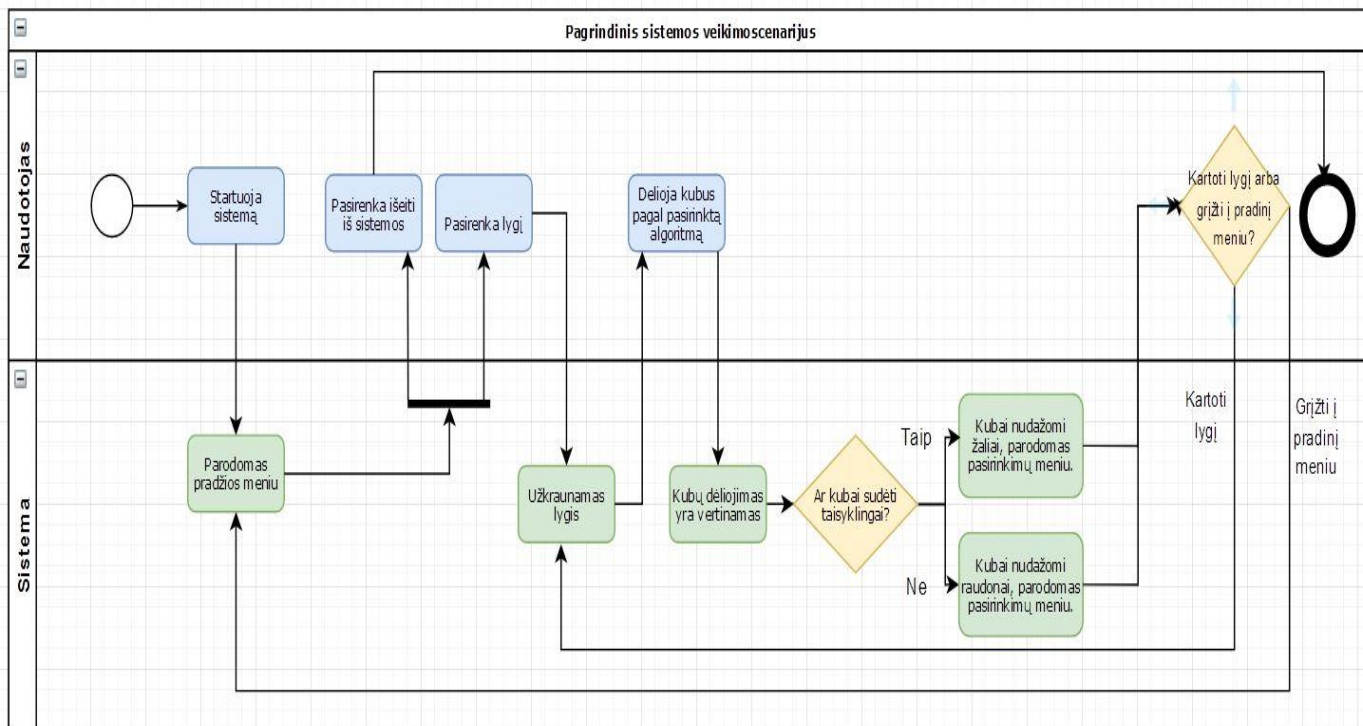
Šiame skyriuje pateikiamas įgyvendintos virtualios realybės edukacinės sistemos aprašas, detalizuojantis jos užduotis ir jų eigą. Taip pat apžvelgiami sistemos veikimo principai ir mechanizmai.

7.1. Sistemos būsenų aprašymas

Sistemos veikimo pradžioje ir jai sėkmingai užsikrovus naudotojas pamato „Unity“ logotipą (tas yra būdinga visoms su „Unity Game Engine“ varikliu sukurtoms sistemoms) bei su rekomendacijos supažindinantį langą ir tada pasiekia pagrindinį meniu, kuriame jis gali pasirinkti vieną iš trijų lygių:

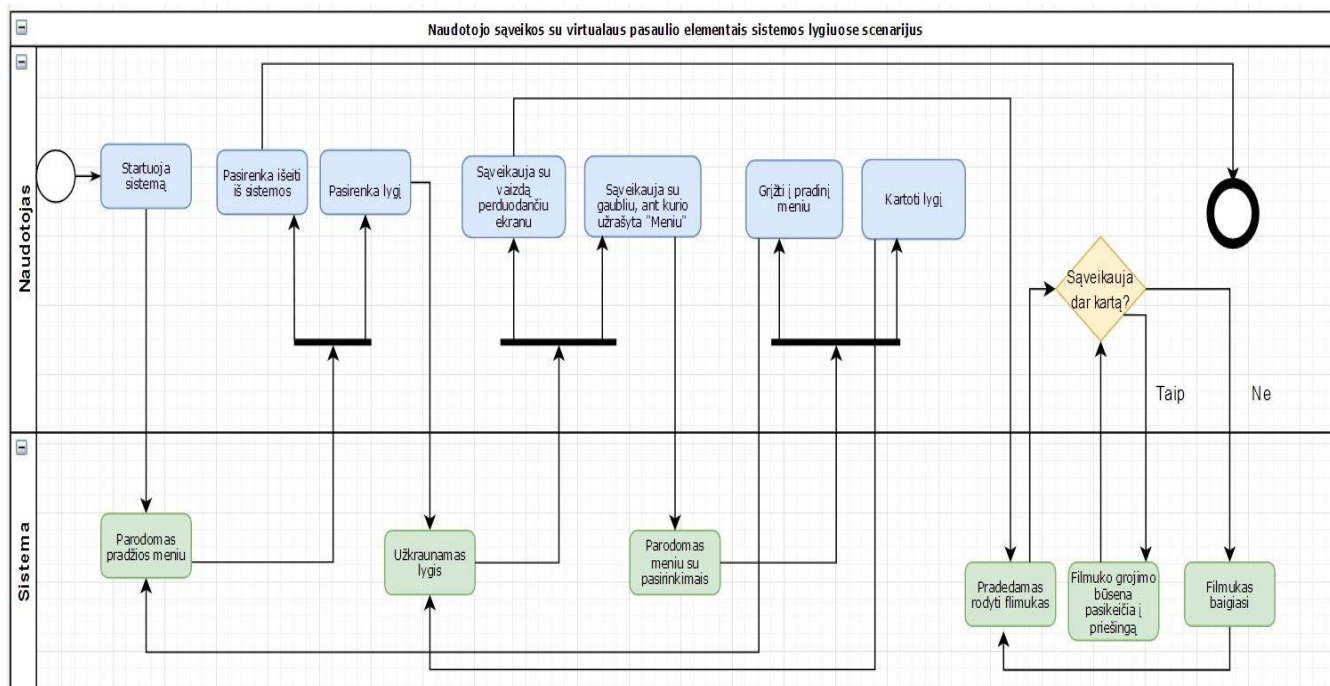
1. Išrinkimo rikiavimo algoritmas (angl. *Selection sort*) užduotis.
2. Burbulo rikiavimo algoritmo (angl. *Bubble sort*) užduotis.
3. Įterpimo rikiavimo algoritmo (angl. *Insertion sort*) užduotis.

Užduotys gali būti atliktos bet kokia tvarka. Visų jų sprendimo būdas yra panašus. Naudotojas prieš save virtualiame pasaulyje ant žemės pamato eilę atsitiktinai išdėstytų rudos spalvos kubo formos objektų, ant kurių yra užrašytas skaičius nuo 1 iki 100. Užduotis yra šiuos kubus surikiuoti didėjančia eilės tvarka pagal pasirinktą rikiavimo algoritmą. Tą naudotojas atlieka į juos pažiūrėjęs, nutaikęs valdiklį, esantį ekrano centre, ir nuspaudęs mygtuką – taip sąveikaujantis žmogus gali keisti jų poziciją. Du į orą pakelti kubai gali būti apkeisti vietomis, tada sistema patikrina, ar šis apkeitimas įvyko pagal algoritmą. Jeigu į orą pakeliami yra trys ir daugiau kubų, sistema tai laiko klaida, nes pasirinkti rikiavimo algoritmai bet koku atveju lygina tik du skaičius. Jeigu rikiuojant kubus padaroma klaida, jų spalva nusidažo raudonai. Jeigu kubai surikiuojami taisyklingai, jie nusidažo žaliai ir parodomas pranešimas, jog lygis sėkmingai įvykdytas. Po abiejų scenarijų naudotojas gali pasirinkti grįžti į pagrindinį meniu arba pradėti lygį iš naujo (žr. 7 pav.).



7 pav. Pagrindinis sistemos veikimo scenarijus

Be užduoties sprendimo, sistemos būsenas galima keisti ir sąveikaujant su sistemos lygio objektais. Vienas iš objektų yra gaublys, kurį nuspaudus atsidaro meniu, kuriame naudotojas gali pasirinkti grįžti į pradinį meniu arba pradėti lygį iš naujo. Kitas objektas – vaizdą perduodantis ekranas, su kuriuo sąveikaujant galima pradėti arba sustabdyti rodomą vaizdą. Filmukui pasibaigus, jis yra rodomas iš naujo (žr. 8 pav.).



8 pav. Naudotojo sąveikos su lygio elementais scenarijus.

7.2. Sistemos komponentų įgyvendinimas

Šiame poskyryje aprašomi pagrindiniai įgyvendinti sistemos komponentai, programinio kodo struktūros ir jų veikimas. Taip pat pateikiami juos vaizduojantys ekranvaizdžiai. Visą sistemą ir jos programinį kodą galima pasiekti viešai (žiūrėti 1 priede).

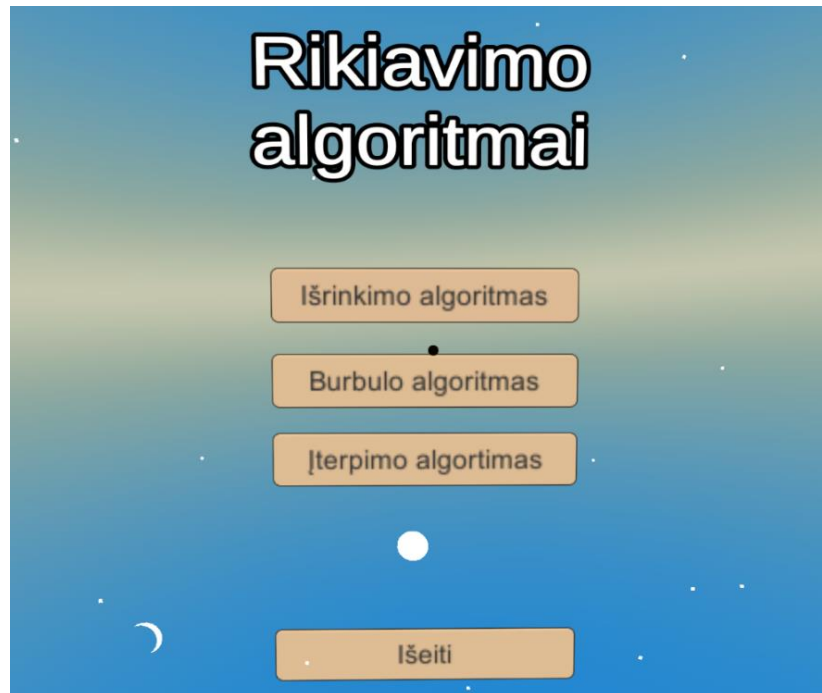
Pirmasis sistemos komponentas, su kuriuo sąveikauja naudotojas, yra pradinis meniu (žr. 9 pav.). Jis buvo sukurtas pasinaudojus „Unity“ variklio teikiamu Meniu komponentu. Jame buvo patalpintos nuorodos, sąveika su kuriomis nukreipia naudotoją į vieno iš lygių pasirinkimą, arba leidžia išjungti sistemą. Tokiu pačiu principu įgyvendintas ir lygio meniu, kurį naudotojas gali pasiekti sąveikos su sistema metu.

Pagrindinis sistemos komponentas – virtualusis pasaulis, kuriame naudotojas įgyvendina vieną iš pasirinktų rikiavimo algoritmų. Pasaulio elementai, su kuriais naudotojas negali sąveikauti, yra žemė, medžiai, gėlės, pastatai ir akmenys. Su kitais elementais – kubais, vaizdą perduodančiu ekranu ir meniu atidarančiu gaubliu – naudotojas gali sąveikauti ir keisti jų būsenas.

„Unity“ įrankiu sukurtas trimatis parkas – ant žalios spalvos plokštumos, atvaizduojančios žemę, uždėti elementai iš papildomai įdiegtų „Unity“ parduotuvės „Low-Poly Simple Nature Pack“¹ ir „Low Poly Tree Pack“² komponentų, tokie kaip medžiai, akmenys, pastatai bei gėlės. Į šį sukurtą parką buvo patalpinti kiti sistemos objektai. „Unity“ variklis leidžia kurti kubo ir gaublio formos objektus, kurie buvo padėti ant žemės ir nudažyti oranžine spalva. Visi sukurti objektai yra „tušti“ ir nevykdo jokių papildomų funkcijų. Tam, kad objektai elgtųsi pagal tam tikras taisykles, kiekvienam iš jų būtina prikabinti programinio kodo skriptą, kuris įgyvendina funkcionalumą. Šis kodas yra rašomas atskiruose „C#“ programavimo kalbos failuose ir pridedamas prie „Unity“ projekto.

¹ <https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/landscapes/low-poly-simple-nature-pack-162153>

² <https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/low-poly-tree-pack-57866>

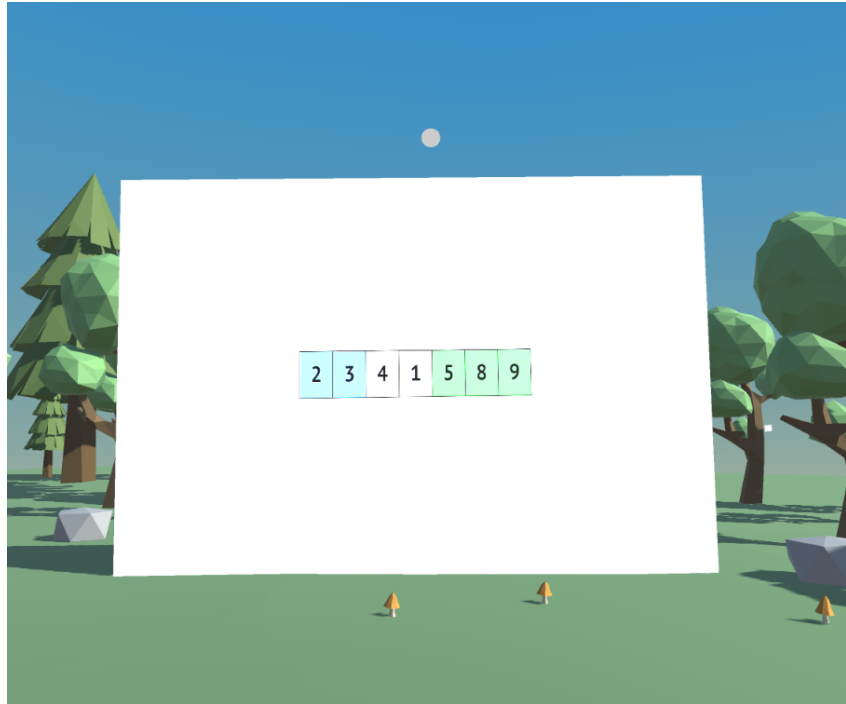


9 pav. Pradinis meniu

Kuriama sistema yra skirta virtualios realybės platformai „Google Cardboard“, todėl buvo įdiegta papildoma atviro programinio kodo biblioteka „Cardboard SDK“, kuri skirta „Unity“ virtualios realybės sistemoms. Jos pagalba galima paprasčiau kurti tokio tipo sistemą, nes dalis dažniausiai naudojamų metodų ir skriptų jau yra sukurti ir jais galima laisvai naudotis, kas palengvina ir pagreitina kūrimą. Iš šios bibliotekos pasinaudota tik kamerą valdančiu programiniu kodu, kuris yra pridėtas prie naudotojo kameros objekto. Dėl sistemos veikimo pirmu asmeniu (tarsi naudotojo akimis), šis kodas leidžia kamerai judėti ir keisti poziciją, kai naudotojas pakreipia galvą, kas sukuria natūralų vaizdinį atsaką į judesį.

Vaizdą perduodančio ekrano elementas įgyvendintas pasinaudojus „Unity“ vaizdo grotuvo komponentu. Jis pridėtas į virtualų parką ir „mp4“ formato filmukas, kurį ekranas rodo, įkeltas į vaizdo grotuvo aplanką (žr. 10 pav.). Filmukų autorius yra „Youtube“ kanalas pavadinimu „Michael Sambol Programming“³. Prie vaizdą perduodančio ekrano prikabinatas kodas leidžia naudotojui paleisti ir sustabdyti vaizdą nuspaudus sąveikos mygtuką, kai jis žiūri į ekraną.

³ „Youtube“ kanalas: https://www.youtube.com/channel/UCzDJwLWoYCUQowF_nG3m5OQ



10 pav. Vaizdą perduodantis ekranas

Gaublio, sąveika su kuriuo nukelia naudotoją į lygio meniu, buvo įgyvendinta pasinaudojus „Unity“ gaublio objekto komponentu (žr. 11 pav.). Jis buvo pridėtas į virtualų kambarį ir papildomai buvo sukurtas programinis kodas, kuris leidžia naudotojo sąveikos metu įjungti lygio meniu sceną (žr. 12 pav.).



11 pav. Gaublys, nukreipiantis naudotoją į lygio meniu



12 pav. Lygio meniu

Sąveika su objektais, jų pozicijos ir būsenos keitimas, nėra funkcija, kurią suteikia „Unity“ arba „Cardboard SDK“, todėl ji buvo suprogramuota teksto autoriaus. Buvo sukurti „C#“ programinio kodo skriptai, kurių vienas seka naudotojo kameros centro poziciją suteikdamas informaciją, kur bet kuriuo metu žiūri naudotojas (kur yra pakreipęs galvą), o kiti – leidžia objektams keisti savybes priklausomai nuo naudotojo sąveikos (tik žvilgsnio, mygtuko nuspaudimo, paleidimo ir kt.). Šie programinio kodo blokai buvo pridėti prie naudotojo kameros ir kambario objektų, su kuriais gali sąveikauti naudotojas. Prie kameros pridėtas kodas naudotojui vaizdo centre rodo tašką, kuris parodo, kur yra nukreiptas jo žvilgsnis. Šis taškas išsiplečia, kai naudotojas nukreipia žvilgsnį į objektą, su kuriuo jis gali sąveikauti. Skriptas, prikabinamas prie kubų, leidžia juos paaimti, nuspaudus sąveikos mygtuką, ir keisti jų poziciją (iškelti į orą, padėti į kitą vietą), kol sąveikos mygtukas nėra paleistas, o jį paleidus kubai pasilieka toje pozicijoje (žr. 13 pav.).



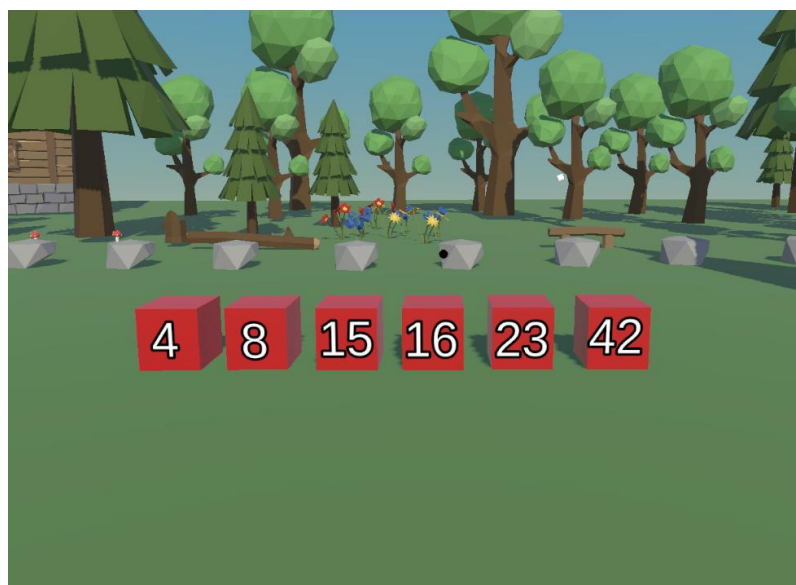
13 pav. Naudotojas pakelia kubą nuo grindų

Pagrindinė kuriamos sistemos veikimo logika yra ta, jog naudotojo judinami ir keičiami kubai yra nuolat tikrinami pagal tai, ar jų rikiavimas atitinka pasirinktą algoritmą. Pirmiausia,

prasidėjus lygiui, programinio kodo skriptas įvertina kubų išsidėstymą, nuskaityto ant jų parašytus skaičius ir juos sudeda į masyvą. Tas masyvas yra surikiuojamas pasitelkiant to lygio rikiavimo algoritmą (pvz. burbulo metodu) ir kiekvienas šio algoritmo žingsnis yra išsaugomas sistemos atmintyje. Kitas sukurtas skriptas tikrina virtualaus kambario kubų išsidėstymo tvarką kiekvieną kartą, kai naudotojas apkeičia du kubus vietomis. Kiekvienas šis apkeitimas yra tikrinamas su sistemoje išsaugotoje atmintyje esančiais žingsniais ir nustatoma, ar jis buvo taisyklingas. Jeigu lyginami du kubai yra išsidėstę taisyklingai ir jų apkeisti nereikia, sistema šį judesį ignoruoja ir vertina tik tuos, kurių metų naudotojas turi apkeisti du kubus vietomis. Jeigu visi apkeitimai buvo taisyklingi, kubus išrikiuojant didėjimo tvarka jie nusidažo žaliai (žr. 14 pav.) ir po dešimties sekundžių naudotojui yra parodomas meniu, kuriame jis gali pasirinkti kartoti lygį arba įkrauti lygį iš naujo. Priešingu atveju – kubai nusidažo raudonai (žr. 15 pav.).



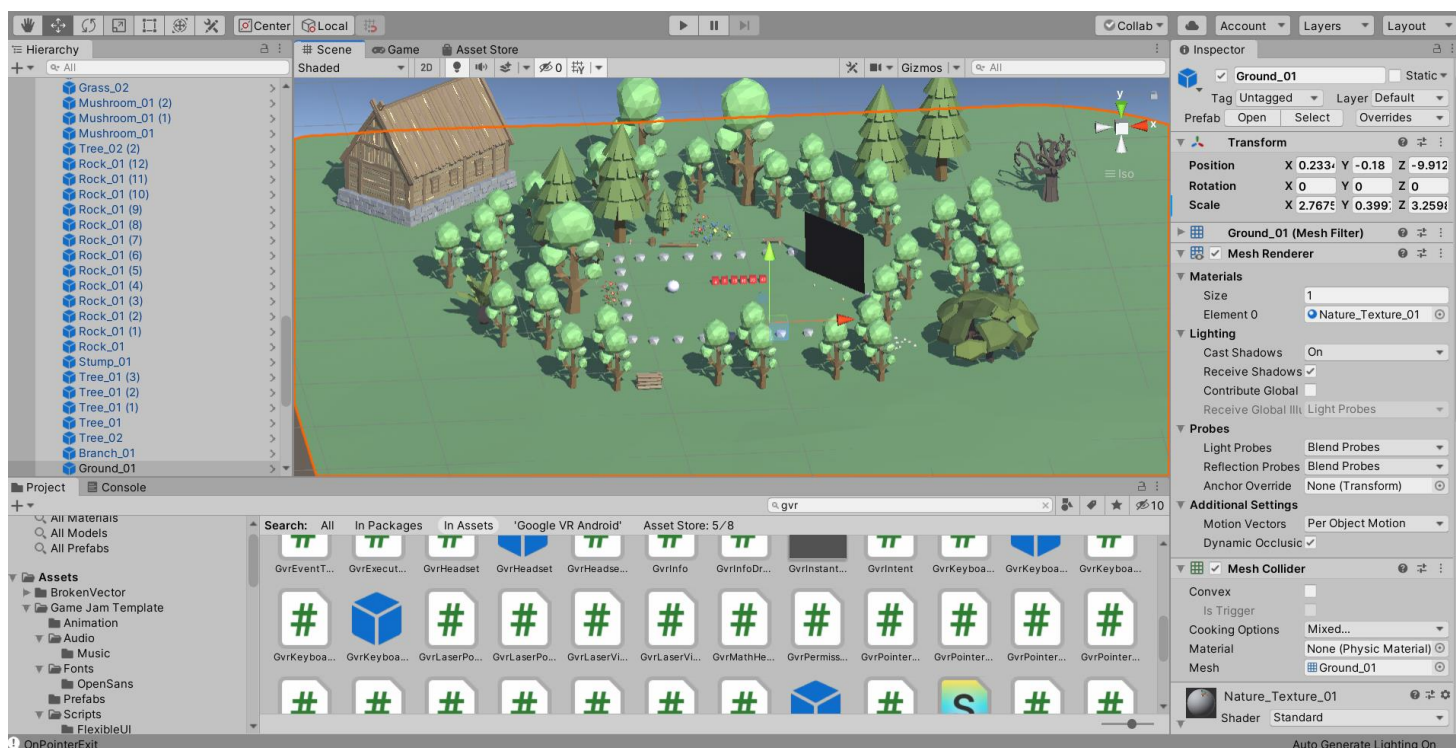
14 pav. Rikiavimas yra išspręstas sėkmingai



15 pav. Rikiavimas yra išspręstas nesėkmingai

Sistemoje taip pat yra įgyvendinti garso efektai ir muzika. Pagrindiniame meniu ir lygyje pridėta nemokama autorių teisių nepažeidžianti muzika iš internetinės platformos „Bendsound“⁴, kuri skamba visu sistemos veikimo metu. Be to, kiekvienas lygio objektas sąveikos su juo metu skleidžia 0,5 sekundės trunkantį garso efektą, kuris signalizuoja naudotojui, jog sąveika su objektu prasidėjo arba baigėsi.

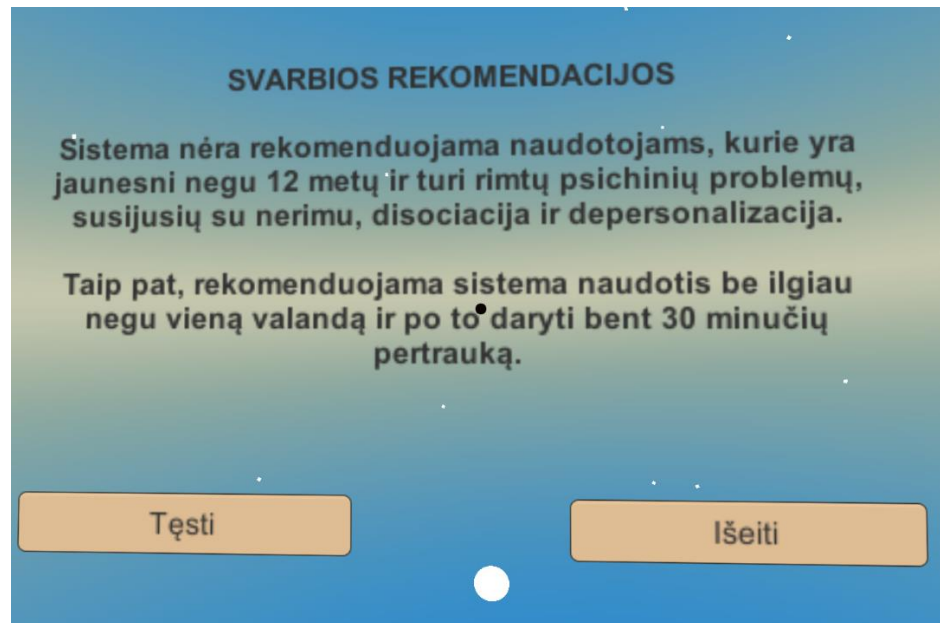
„Unity“ visą parašytą programinį kodą (žr. 16 pav.) apjungia į vieną paleidimo failą, kuris yra perkeliamas į mobilųjį įrenginį. Kadangi žaidimo variklis optimizuoja programinį kodą ir yra skirtas veikti „Android“ ir „iOS“ operacinių sistemų mobiliuosiuose įrenginiuose, veikimas yra sklandus ir sistema veikia be vaizdinės delsos ir reakcijos laikas tarp naudotojo judesių ir sistemos vaizdų pokyčio nėra ilgesnis negu 200 milisekundžių, kas atitinka iškeltus nefunkcinius reikalavimus.



16 pav. Sistemos kūrimas „Unity“ žaidimų variklyje

Pritaikius iškeltas virtualios realybės sistemų naudojimo rekomendacijas ir siekiant apsaugoti naudotojų sveikatą, įjungus sistemą yra parodoma rekomendacijos, jog jie turėtų būti vyresni negu 12 metų amžiaus ir neturėti psichinių problemų, susijusių su nerimu, disociacija ir depersonalizacija. Taip pat, po valandos naudojimosi sistema patariama padaryti bent 30 minučių pertrauką (žr. 17 pav.).

⁴ <https://www.bensound.com/>



17 pav. Naudojimo rekomendacijos

7.3. Rekomendacijų ir reikalavimų įgyvendinimas

Patikrinta, ar sukurta sistema įgyvendina visas iškeltas rekomendacijas bei funkcinius bei nefunkcinius reikalavimus (žr. 5 lentelė), kurie yra paremti naudotojų poreikiais ir panaudojamumo euristicomis.

5 lentelė. Rekomendacijų ir reikalavimų įgyvendinimo statusai

Unikalus rodiklis	Įgyvendinimo statusas
R1	Įgyvendintas. Naudotojai, pradėję naudotis sistema, pamato rekomendaciją, jog jie turėtų būti vyresni negu 12 metų ir neturėti psichinių problemų, susijusių su nerimu, disociacija ir depersonalizacija.
R2	Įgyvendintas. Naudotojai, pradėję naudotis sistema, pamato rekomendaciją, jog po valandos naudojimo reikėtų padaryti bent 30 minučių pertrauką.
R3	Įgyvendintas. Naudotojai turi statinį atskaitos tašką, sistemos matymo laukas ir regos kampas toks pat, koks yra įprastas žmogui.
FR1	Įgyvendintas. Prasidėjus sistemos veikimui, naudotojas pradiniam meniu pasirenka norimą lygį arba galimybę išjungti sistemą.
FR2	Įgyvendintas. Pasirinkęs lygį, naudotojas yra nukeliamas į virtualų parką, kurį gali laisvai tyrinėti – žvalgytis aplink ir atlikti veiksmus.
FR3	Įgyvendintas. Naudotojas ekrano centre mato apskritimą, kuris išsiplečia, kai žvilgsnis nukreiptas į objektą, su kuriuo galima sąveikauti.

FR4	Įgyvendintas. Naudotojo veiksmai virtualiame parke sukelia garsinį ir vaizdinį atsaką.
FR5	Įgyvendintas. Naudotojas gali kilnoti kubus ir taip keisti jų poziciją.
FR6	Įgyvendintas. Naudotojas gali sąveikauti su vaizdą perduodančiu ekranu, kuris rodo mokomąją medžiagą.
FR7	Įgyvendintas. Naudotojui baigus rikiuoti kubus, jie nusidažo žalia spalva, jeigu rikiavimas buvo taisyklingas.
FR8	Įgyvendintas. Naudotojui baigus rikiuoti kubus, jie nusidažo raudona spalva, jeigu rikiavimas nebuvo taisyklingas.
FR9	Nėra įgyvendintas. Sistemos progreso išsaugojimas ir jo įkėlimas nėra funkcionalumas, kurį turi šios stadijos prototipas.
NFR1	Įgyvendintas. Naudotojo veiksmai nėra varžomi ir jis gali sąveikauti su visais matomais elementais, kurie nėra dekoracijos.
NFR2	Įgyvendintas. Sistemos lygių veiksmas vyksta virtualiame parke, kuriame yra objektai, suteikiantys naudotojui galimybę įgyvendinti rikiavimo algoritmą.
NFR3	Įgyvendintas. Sistema veikia pirmuoju asmeniu.
NFR4	Įgyvendintas. Sistemos užduotys yra mokomojo pobūdžio ir sistema suteikia pakankamai informacijos, jog tas užduotis įvykdyti neturint reikiamų žinių.
NFR5	Įgyvendintas. Sistema skleidžia naudotojui malonius garsus, tokius kaip foninė muzika ir sąveikos su objektais garsai.
NFR6	Įgyvendintas. Sistema veikia sklandžiai ir palaiko pastovų kadrų per sekundę skaičių.
NFR7	Įgyvendintas. Sistemos veikimo metu naudotojas nejaučia vaizdinės delsos.
NFR8	Įgyvendintas. Reakcijos laikas tarp naudotojo judėjimo ir virtualios sistemos atitinkamo pokyčio yra trumpesnis negu 200 milisekundžių.

8. Sukurtos virtualiosios realybės sistemos testavimo rezultatų analizė

Šiame skyriuje aprašomi klausimai, pateikti naudotojams, norint išsiaiškinti sukurtos virtualios realybės sistemos panaudojamumo įvertinimą. Vertinimo metu yra analizuojami klausimai ir jų sėkmės kriterijų įgyvendinimas. Skyriaus pabaigoje pateikiamas rezultatų apibendrinimas.

8.1. Klausimai vertintojams

Vertintojams pateikiamas klausimynas, kuriame jie įvertino savo patirtį su sistema. Lentelėje (žr. 6 lentelė) pateikiami klausimai ir jų sėkmės kriterijai. Siekiama nustatyti, ar sukurta sistema, teikdama malonius potyrius ir informaciją, įtraukia naudotoją į algoritmų ir duomenų struktūrų kurso rikiavimo algoritmų mokymąsi.

6 lentelė. Klausimynas

Eil. nr.	Klausimas	Sėkmės kriterijus
1	Ar sistemos veikimo tikslas ir tema yra aiškūs?	Tikslas aiškus bent 90% vertintojų.
2	Ar pavyko pasirinkti norimą lygį?	Lygi pasirinkti pavyko bent 90% vertintojų.
3	Ar suprantama, ką reikia daryti, kad išspręstumėte lygį?	Lygio sprendimo būdas aiškus bent 80% vertintojų
4	Ar buvo aišku, kaip reikia sąveikauti su kubais keisti jų poziciją?	Sąveika su kubais buvo aiški bent 80% vertintojų.
5	Jeigu to prireikė, ar pavyko paleisti pagalbinę vaizdinę medžiagą?	Jeigu prireikė, tą atlikti pavyko bent 80% vertintojų.
6	Jeigu to prireikė, ar pavyko pasiekti lygio meniu?	Jeigu prireikė, tą atlikti pavyko bent 80% vertintojų.
7	Ar išsprendėte lygį pasirinktu rikiavimo algoritmu?	Lygį išsprendė bent 50% vertintojų.
8	Jeigu kubus surikiavote, ar buvo aišku, kad rezultatas yra sėkmingas arba nesėkmingas?	Rikiavimo rezultatas buvo aiškus bent 90% surikiavusiųjų.
9	Ar pavyko ko nors išmokyti?	Bent 90% vertintojų sužinojo ko nors naujo.
10	Ar manote, kad ši sistema yra efektyvus būdas išmokyti apie rikiavimo algoritmus arba pritaikyti jau turimas žinias apie juos?	Taip mano bent 70% vertintojų.

11	Ar sąveiką su sistema vadintumėte intuityvia?	Sąveika pasirodė intuityvi bent 80% vertintojų.
12	Ar jautėte kokių neigiamų nors fizinių pojūčių, kuriuos galėjo sukelti būtent sąveika su sistema?	Neigiamų fizinių pojūčių vertintojai nejautė.
13	Ar patiko sistemos teikiami vaizdai?	Vaizdai patiko bent 80% vertintojų.
14	Ar jautėte vaizdinę delsą (angl. <i>lag</i>) ?	Vaizdinės delsos nejautė bent 90% vertintojų.
15	Ar pasiūlytumėte sistema naudotis asmenims, kurie yra suinteresuoti išmokti daugiau apie rikiavimo algoritmus?	Rekomenduotų bent 70% vertintojų.
16	Ar turite pastabų ar rekomendacijų, kurios galėtų pagerinti sistemą? Jas įrašykite.	Sėkmės kriterijus neapibrėžtas.
17	Ar patiko sistemos metu grojama muzika ir kiti garso efektai?	Garso efektai ir muzika patiko bent 80% vertintojų.
18	Ar patiko, kad sistemos užduotys vyksta virtualiame parke? Kokios kitos aplinkos Jus domintų?	Virtualus parkas patiko bent 60% vertintojų.
19	Ar jums kas nors nepatiko? Aprašykite.	Sėkmės kriterijus neapibrėžtas.

8.2. Vertintojų charakteristikos

Sukurtos virtualiosios realybės edukacinės sistemos vertinimą atliko šeši vertintojai (kas, pasak Jacob Nielsen, yra pakankamas vertintojų skaičius panaudojamumo testavimui [Nie12]), iš kurių visi pagal profesiją arba studijuojamą sritį yra susiję su programinės įrangos kūrimu. Šie žmonės pasirinkti todėl, nes jie visi yra esami arba buvę programų sistemų, informatikos arba informacinių technologijų studentai, kurie kažkuriuo metu mokėsi arba mokysis rikiavimo algoritmų. Penki iš vertintojų turėjo patirties su virtualiosios realybės sistemomis ir vienas iš jų tokiomis sistemomis naudojosi reguliariai. Savanoriams vertintojams buvo suteikta galimybė pasinaudoti sistema ir po to įteiktas klausimynas (žr. 5 lentelė), kuriame jie galėjo atsakinėti į klausimus bei palikti komentarus, ir bendriniai klausimai:

- Jeigu studijuojate, kokia yra Jūsų studijų kryptis?
- Kaip dažnai naudojotės virtualiosios realybės sistemomis?

8.3. Vertinimo rezultatų analizė

Sistemos tikslo ir temos aiškumas. Visi apklaustieji teigė, jog sistemos tikslas ir tema yra aiškūs ir suprantami. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Norimo lygio pasirinkimas. Visi apklaustieji teigė, jog jiems pavyko pagrindiniame meniu pasirinkti norimą lygį (rikiavimo algoritmą). Sėkmės kriterijus išpildytas.

Lygio sprendimo būdas. Visi apklaustieji teigė, jog jiems buvo aišku, kad lygį reikia išspręsti surikiavus kubo formos objektus su skaičiais jų didėjimo tvarka pagal pasirinktą rikiavimo algoritmą. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Kubų pozicijos keitimas. Visi apklaustieji teigė, jog jiems pavyko pakeisti kubų poziciją – juos iškelti į orą ir apkeisti vietomis. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Vaizdinės medžiagos paleidimas. Visi apklaustieji teigė, jog jiems pavyko paleisti pagalbinę vaizdinę medžiagą. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Lygio meniu paleidimas. Visi apklaustieji teigė, jog jiems pavyko pasileisti lygio meniu. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Rikiavimo algoritmo sprendimas. Visi apklaustieji bandė išspręsti lygį Burbulo rikiavimo algoritmu ir visiems pavyko lygį pabaigti. 4 iš 6 (66%) rikiavimo algoritmą išsprendė sėkmingai. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Lygio sprendimo įvertinimas. Visi apklaustieji teigė, jog jiems buvo aišku, ar jie sėkmingai pabaigė lygį (kubų spalvos pasikeitimas jiems buvo aiški). Sėkmės kriterijus išpildytas.

Išmoktos žinios. Visi apklaustieji teigė, jog jie išmoko ko nors naujo arba prisiminė užmirštą informaciją, susijusią su algoritmų ir duomenų struktūrų universitetinio kurso rikiavimo algoritmais. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Efektyvus būdas išmokti rikiavimo algoritmų. Visi apklaustieji įvertino sukurtą sistemos prototipą kaip efektyvų būdą mokytis rikiavimo algoritmų arba prisiminti prieš tai įgytas žinias apie juos. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Naudotojo sąveikos intuityvumas. 5 iš 6 (83%) vertintojų naudotojo sąveika su sistema pavadino intuityvia. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Neigiami fiziniai pojūčiai naudojimo metu. Visi vertintojai teigė, jog nepajuto jokių neigiamų fizinių poveikių (galvos, akių skausmų, pusiausvyros praradimo ir pan.) sąveikaudami su virtualios realybės sistema. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Sistemos vaizdai. 5 iš 6 (83%) vertintojų teigė, jog virtualaus parko vaizdai ir dekoracijos jiems patiko. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Vaizdinė delsa. Visi vertintojai teigė, jog sąveikaudami su sistema jie nejautė jokios vaizdinės delsos. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Sistemos naudojimas rikiavimo algoritmų mokymuisi. Visi vertintojai teigė, jog pasiūlytą naudoti sukurtą virtualios realybės sistemos prototipą žmonėms, kurie yra suinteresuoti mokytis apie rikiavimo algoritmus. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Garsai ir muzika. Visi vertintojai teigė, jog jiems patiko sistemos veikimo metu grojama foninė muzika ir kiti garsai. Sėkmės kriterijus išpildytas.

Aplinka. 5 iš 6 (83%) vertintojų patiko, jos veikimas vyko virtualiame parke. Kitos aplinkos, kurias vertintojai pasiūlė buvo: mėnulio paviršius, dykuma, sandėlis, jūros pakrantė, auditorija.

Nepatikusios dalys. Vertintojų komentarai:

- Kelti kubus nuo žemės, juos palikti kyboti ore ir sąveikauti su kitais kubais yra nepatogus jų apkeitimo būdas. Patogiau būtų paspausti ant dviejų kubų ir taip juos apkeisti vietomis.
- Neatrodo, jog kubai atitinka aplinką, kurioje yra, nes jie išsiskiria savo forma ir išvaizda – nėra parko objektai.
- Pabaigus lygį nesugroja joks garsas, simbolizuojantis sėkmingą arba nesėkmingą algoritmo sprendimą.

Pastabos ir rekomendacijos. Vertintojų rekomendacijos ir pastabos:

- Naudotojui galima parodyti pasirinktų rikiavimo algoritmų laiko ir atminties sudėtingumą (pagal „O“ žymėjimą), kad jie galėtų prisiminti šią informaciją.
- Lygiuose trūksta judančių elementų, todėl pasaulis atrodo statinis. Galima papildyti lygius tokiais judančiais objektais kaip upės, laužai, gyvūnai, paukščiai ir pan.
- Sėkmingas rikiavimo sprendimas niekuo neapdovanoja naudotoją, o tik parodo pranešimą. Galima kitaip sukelti motyvaciją taisyklingai išspręsti algoritmą, pvz. ką nors atrakinti, parodyti, surinkti taškus.
- Naudotoją motyvuotų ilgiau naudotis sistema, jeigu jis iš pradžių galėtų rinktis tik vieną iš rikiavimo algoritmų, o jį išsprendęs „atrakintų“ galimybę spręsti kitą. Tai sukeltų apdovanojimo jausmą.
- Sąveiką su vaizdą perduodančiu ekranu galima papildyti ir suteikti naudotojui galimybę vaizdinę medžiagą pagreitinti, sulėtinti arba paleisti iš naujo.
- Lygio meniu galėtų būti lygio elementas, atsirandantis tarp kitų objektų, ne atskiras langas, užimantis visa naudotojo akiratį ir jį iškeliantis iš parko aplinkos.

8.4. Apibendrinimas

Išanalizavus vertintojų atsakymus ir komentarus galima teigti, jog jiems visiems virtualiosios realybės sistema naudotis patiko ir buvo naudinga. Atsakymų į visus klausimus sėkmės kriterijai buvo įgyvendinti, kas parodė, jog vertintojams patiko sistemos vaizdai, garsai, sąveika, techninis veikimas, naudojimosi paprastumas, suteiktos žinios ir kiti bruožai. Vertintojai

pateikė komentarus su nepatikusių dalių aprašymais ir pasiūlymais sistemos gerinimui. Tikimasi, jog į šią informaciją bus atsižvelgta ir virtualiosios realybės sistema bus patobulinta.

Tolimesniam sistemos tobulinimui galėtų būti pritaikomos šios tobulinimo rekomendacijos:

1. Įgyvendinti sistemos būsenos išsaugojimo ir užkrovimo funkcionalumą, nes tai yra vienas iš funkcinų reikalavimų, kuris nebuvo įgyvendintas.
2. Pakeisti kubų su skaičiais apkeitimo mechanizmą – juos kilnoti nėra patogiu naudotojui. Galima įdiegti funkcionalumą, kuris apkeičia kubus vietomis ant jų paspaudus.
3. Sukurti daugiau skirtingų aplinkų – mėnulio paviršius, dykuma, sandėlis, jūros pakrantė, auditorija – kuriose naudotojai gali spręsti rikiavimo algoritmus.
4. Objektai, kuriuos naudotojas rikiuoja, neprivalo būti kubai. Galima juos pritaikyti prie aplinkos: pvz. parke šie objektai gali būti kelmiai, dykumoje – akmenys ir t.t.
5. Įdiegti garsinį atsaką, kai naudotojas sėkmingai arba nesėkmingai surikiuoja kubus.
6. Įdiegti daugiau rikiavimo algoritmų, papildyti esantį jų trejetą.
7. Mokymosi aplinkoje galima vaizduoti rikiuojamo algoritmo laiko ir atminties sudėtingumą (pagal „O“ žymėjimą), kad naudotojai galėtų išmokyti šią informaciją.
8. Lygiuose įdiegti judančius objektus, kurie aplinkai suteiks gyvumo. Šie objektai gali būti gyvūnai, upės, laužai ir pan.
9. Įdiegti lygių „atrakinimo“ funkcionalumą, kai naudotojas gali pradėti lygį tik išsprendęs buvusį.
10. Patobulinti vaizdą rodantį ekraną, tam, kad naudotojas galėtų reguliuoti vaizdo klipo greitį ir jį atsukti atgal.
11. Lygio meniu paversti į lygio elementą, kuris egzistuoja aplinkoje. Šiuo metu lygio meniu yra atskira scena, todėl naudotojas yra pilnai iškeliamas iš lygio aplinkos.

Rezultatai

Darbo metu buvo atliekama virtualiosios realybės sistemų ir jų panaudojamumo analizės. Tas buvo atlikta tam, kad būtų galima suprojektuoti, sukurti ir ištestuoti virtualiosios realybės mokomojo tipo sistemą. Pasiiekti rezultatai:

1. Atrinkta tinkamiausia virtualiosios realybės įranga, skirta kurti virtualiosios realybės mokomąją sistemą.
2. Išanalizavus literatūrą, apibrėžtos virtualios realybės sistemų naudojimo rekomendacijos, naudotojo lūkesčiai ir sistemos techniniai reikalavimai.
3. Atlikti euristiniai vertinimai virtualiosios realybės sistemoms „Google Expeditions“ ir „Nanome“ bei gauti kriterijai, kurie buvo pritaikyti projektuojant mokomąją virtualios realybės edukacinę sistemą skirtą mokyti pagrindinių rikiavimo algoritmų principų.
4. Atrinkta tinkamiausia virtualiosios realybės sistemoms kurti skirta programinė įranga.
5. Sukurta ir ištestuota virtualios realybės programų sistema (žiūrėti 1 priede), kuri apmoko naudotojus rikiavimo algoritmų ir leidžia juos spręsti trimatėje aplinkoje.

Išvados

Atlikus literatūros analizę, sukūrus virtualiosios realybės edukacinę sistemą ir ją ištestavus su vertintojais, buvo surinkti atsakymai į klausimus, pastabos ir pasiūlymai. Darbe buvo daromi šie sprendimai:

1. Įvertinus „Oculus Rift S“, „HTC Vive“, „Samsung Gear VR“ ir „Google Cardboard“ virtualiosios realybės sistemas pagal jų kainą ir prieinamumą, nuspręsta, jog „Google Cardboard“ įranga yra labiausiai tinkanti kurti edukacinę virtualiosios realybės sistemą.
2. Remiantis mokslinė literatūra, nagrinėjanti dėl virtualiosios realybės sistemų naudojimo atsirandantį fizinį poveikį žmonėms, identifikuotos tokio tipo sistemų naudojimo rekomendacijos – naudotojai neturėtų būti jaunesni negu 12 metų, neturėti rimtų psichinių problemų, neturėtų naudotis sistema ilgiau negu valandą be pertraukos. Taip pat patariama, jog sistemos veikimo metu naudotojas turėtų bent vieną statinį atskaitos tašką.
3. Remiantis mokslinė literatūra, nagrinėjanti virtualiosios realybės sistemų panaudojamumą, atlikti „Google Expeditions“ ir „Nanome“ euristiniai tyrimai ir identifikuotos virtualiosios realybės edukacinių sistemų projektavimo gairės, iš kurių kelios yra: sąveika su sistema naudotojui turi kelti malonumą, įsinėrimo jausmą, suteikti aktualios informacijos, būti intuityvia, minimalistine, leisti laisvai tyrinėti aplinką, o atvaizduojama virtuali aplinka turi būti kuo panašesnė į realybę ir suprantama naudotojui.
4. Išanalizuotos plačiausiai naudojamos nemokamos „Amazon Lumberyard“, „Unreal Engine“ ir „Unity“ virtualiosios realybės taikymų kūrimo programos. Buvo nuspręsta, jog „Unity“ yra pranašiausia, nes žaidimų variklis yra tinkamas realizuoti visus funkcinis ir nefunkcinis kuriamos sistemos reikalavimus bei yra detalai dokumentuotas, jo pagalba sukurtos sistemos veikia visose platformose ir yra optimizuotos veikti sklandžiai, leidžia parsisiųsti ir įdiegti veikiančius komponentus, turi aktyvią ir didelę kūrėjų bendruomenę. „Unreal Engine“ ir „Amazon Lumberyard“ varikliai visų šių bruožų neįgyvendina.
5. Išanalizavus sukurtos virtualiosios realybės mokomosios sistemos naudotojų įvertinimus, galima teigti, kad ji yra tinkama mokytis naujos informacijos arba ją prisiminti – tą rodo teigiami vertintojų atsiliepimai apie išmoktą medžiagą, virtualių aplinkų vaizdus, naudojimo intuityvumą bei jų rekomendacijos tokias sistemas naudoti visiems, kuriuos domina mokomasis dalykas.

Šaltiniai

- [Aba18] J. Abamu. What Researchers Want Teachers to Know About Virtual Reality's Health Risks. *Ed Surge*, 2018.
- [Bar19] Bardi, Joe. What is Virtual Reality? *MarxentLabs*, 2019.
- [Ber17] H. Bernasconi. The Good, the Bad and the Instructional of VR in the classroom. *Aquila Education*, 2017.
- [Bin18] N. Binfiglio. DeepMind partners with gaming company for AI research. *The Daily Dot*, 2018.
- [Bou18] H. Bouckley. A parent's guide to virtual reality gaming: How much does it cost and is it safe?, 2018.
- [Bra75] J. J. Brand. Motion sickness. *Academic Press*, 1975.
- [Bro19] L. Broling. State of VR games and game engines and present convention. 2019 Prieiga per internetą: <https://filmora.wondershare.com/virtual-reality/state-of-vr-games-the-game-engines-and-present-convention.html> Žiūrėta 2020-05-22
- [BRM15] B. B. Marcelo, A. B. Remy, I. d. Medeiros. HEEG: Heuristic Evaluation for Educational Games. *Computing Track – Short Papers*, 2015.
- [Cat16] J. Catapano. Technology in the Classroom: Google's Virtual Field Trips. *TeachHub*, 2016.
- [Dea20] M. Dealessandri. What is the best game engine: is Unreal Engine right for you? *GamesIndustryBiz*. 2020
- [GB08] E. L. Groen, J. E. Bos. Simulator Sickness Depends on Frequency of the Simulator Motion Mismatch: An Observation., 2008.
- [Goo19] Google. Cardboard Explained. 2020 Prieiga per internetą: <https://arvr.google.com/cardboard/> Žiūrėta 2020-05-22
- [Hil16] S. Hill. Is VR safe for kids? We asked the experts. *DigitalTrends* 2016. Prieiga per internetą: <https://www.digitaltrends.com/virtual-reality/is-vr-safe-for-kids-we-asked-the-experts/> Žiūrėta 2020-05-22
- [Hen01] Henry Been-Lirn Duh. Does a Peripheral Independent Visual Background Reduce Scene-Motion-Induced Balance Disturbance in an Immersive Environment., 2001.
- [HTC19] HTC Vive Virtual Reality System.Vive. 2019 Prieiga per internetą. <https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/> Žiūrėta 2020-05-22

- [Kaw99] R. S. Kawalksi. VRUSE: a computerised diagnosis tool for usability evaluation of virtual/synthetic environment systems. *Applied Ergonomics*, 1999, p. 11-25.
- [KBL19] K. Laura, V. Brunet, G. Lelais. Development of a virtual reality platform for effective communication of structural data in drug discovery. *Eurome PMC*, 2019.
- [Kol95] E. M. Kolasinski. Simulator Sickness in Virtual Environments., 1995.
- [Mes19] S. Messner. What to expect from VR in 2019. *PC Gamer*. 2019.
- [MFK17] K. Chalil Madathil, K. Frady, R. Kartley. An Empirical Study Investigating the Effectiveness of Integrating Virtual Reality based Case Studies into an Online Asynchronous Learning Environment. *Computers in education journal*, 2017
- [Lan17] H. Langley. VR long term brain and eyesight effects. *Wearable*. 2017. Prieiga per internetą. <https://www.wearable.com/vr/vr-long-term-brain-eyes-effects-6674> Žiūrėta 2020-05-22
- [MUR15] K. Murry, P. Urn, W. Reigan. Feeling Woozy? It May Be Cyber Sickness. *New York Times*. 2015. Prieiga per internetą <https://well.blogs.nytimes.com/2015/11/14/feeling-woozy-it-may-be-cyber-sickness/> Žiūrėta 2020-05-22
- [Mic19] F. Michael. Google Expeditions Brings Learning to Life for Students at Honolulu's 'Iolani School. *Iolani School*, 2019.
- [Muk17] R. Mukamal. Are Virtual Reality Headsets Safe for Eyes? *American Academy of Ophthalmology*, 2017.
- [Nan19] Nanome AI. Nanome VR System Specification, 2019.
- [Nie12] N. Jacob. How Many Test Users in a Usability Study? *Nielsen Norman Group*, 2012.
- [Nie94] J. Nielsen. 10 Usability Heuristics for User Interface Design *Usability Engineering*., 1994.
- [Ocu19] Oculus. Unity (Gear VR) Getting Started., 2019.
- [Sea16] S. Rebecca. Virtual Reality Can Leave You With an Existential Hangover, *The Atlantic*. 2016 Prieiga per internetą <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2016/12/post-vr-sadness/511232/> Žiūrėta 2020-05-22
- [SG04] A. Sutcliffe, B. Gault. Heuristic evaluation of virtual reality applications Alistair Sutcliffe*, Brian Gault. *Interacting with Computers*, 16(4), 2004, p. 831-849.
- [Uni20] D. Uniland. Review: Amazon's New Game Engine. *GameDesign*. 2020

- [Uli86] K. C. Uliano, E. Y. Lambert, R. S. Kennedy, D. J. Sheppard. The effects of asynchronous visual delays on simulator flight performance and the development of simulator sickness symptomatology., 1986.

1 priedas. Sukurta virtualios realybės mokomoji sistema

Virtualiosios realybės mokomosios sistemos programinį kodą, įdiegimo instrukciją, jos demonstracinę filmuką bei nuoroda į šį bakalauro baigiamąjį darbą galima rasti čia: <https://github.com/andrejus-kuznecovas/SortingApp>