

TARTU ÜLIKOOL  
Arvutiteaduse instituut  
Informaatika õppekava

**Jasper Luik**

**Delta õppehoone segareaalsusrakendus**

**Meta Quest 3 platvormil**

**Bakalaureusetöö (9 EAP)**

Juhendaja: Madis Vasser, PhD

Tartu 2025

## **Delta õppehoone segareaalsusrakendus Meta Quest 3 platvormil**

### **Lühikokkuvõte:**

See töö annab ülevaate majajuhi segareaalsusrakenduse loomisest Meta Quest 3 peaseadmele, mida saaks kasutada Delta õppehoones näidisenähtisena hoone külalistele. Töös selgitatakse, mis on segareaalsus ja tehakse kokkuvõtte selle praktilistest rakendustest. Uuritakse Quest 3 tehnilisi omadusi ning võrreldakse seda teiste turul olevate seadmetega. Rakendus loodi mängumootoris Unreal Engine 5.4. Töö käigus arendati kasutajaliides, rakendati ruumide kuvamine Delta hoone kolmemõõtmelise mudeli põhjal, loodi suunavad rajad ja töötati välja lahendus virtuaalse mudeli kalibreerimiseks reaalmaailmas. Segareaalsuse efekt loodi Delta mudeli abiga. Tulemusena valmis Meta Quest 3 segareaalsusvõimekusi kasutatav rakendus, mida saab kasutada Delta õppehoones.

### **Võtmesõnad:**

Segareaalsus, Meta Quest 3, Unreal Engine 5

**CERCS:** P175 Informaatika, süsteemiteooria

## **A Mixed Reality Application for the Delta Building on the Meta Quest 3 Platform**

### **Abstract:**

This paper gives an overview about creating and implementing a mixed reality game on Meta Quest 3 that could be used as a demo application for guests in the Delta building. The work explains the concept of mixed reality and summarizes its practical applications. The technical capabilities of the Quest 3 are looked into and compared with other devices available on the market. The application was developed using the Unreal Engine 5.4 game engine. During the project, a user interface was created, room visualization was implemented based on a three-dimensional model of the Delta building, visual navigation paths were implemented, and a solution for calibrating the virtual model to the real-world environment was developed. As a result, a mixed reality application utilizing the capabilities of Meta Quest 3 was created, which can be used in the Delta building.

### **Keywords:**

Mixed reality, Meta Quest 3, Unreal Engine 5

**CERCS:** P175 Informatics, system theory

## Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Segareaalsus	5
1.1 Segareaalsuse tähendus	5
1.2 Segareaalsuse rakendused	6
2. Meta Quest 3	7
2.1 Peaseadme tehnilised andmed	7
2.2 Meta Quest 3 võrreldes teiste sarnaste seadmetega	8
3. Metoodika	9
3.1 Kasutatud tarkvara	9
3.1.1 Unreal Engine	9
3.1.2 Meta XR Simulator	9
3.2 Arendus	10
3.2.1 Alus	10
3.2.2 Delta mudel	11
3.2.3 Ruumide kuvamine	12
3.2.4 Asukoha kalibreerimine	14
3.2.5 Mänguala piiride eemaldamine	16
3.2.6 Segareaalsuse implementeerimine	17
4. Tulemused	19
Kokkuvõte	21
Viidatud kirjandus	22
Lisad	24

## Sissejuhatus

Segareaalsus on kiiresti arenev tehnoloogiline suund, mis seob endas nii reaalse maailma kui ka virtuaalsed elemendid. Tänu uuenduslikele seadmetele, nagu 2023. aasta lõpus turule toodud Meta Quest 3, on see tehnoloogia viimastel aastatel muutunud oluliselt kättesaadavamaks ka laiemale kasutajaskonnale.

Tartu Ülikooli arvutiteaduse instituudi arvutigraafika ja virtuaalreaalsuse (AGVR) laboril oli soov tutvustada Delta hoonet ja labori võimekust hoone külalistele uuenduslikul viisil. Labori inventaris oli kaks Quest 3 seadet, mille innovaatilisi funktsioone selleks kasutada taheti. Ei olnud teada, kas kodukasutajale suunatud seade suudab pakkuda piisavalt täpset ja stabiilset segareaalsuskogemust suure hoone piires. Seetõttu valiti käesoleva bakalaureusetöö teemaks luua segareaalsusrakendus Quest 3 platvormil.

Selle bakalaureusetöö eesmärk on uurida Meta Quest 3 peaseadme (ingl *headset*) (Lisa I) võimalusi ning luua sellel segareaalsusrakendus, mida saab kasutada Tartu Ülikooli Delta õppehoones. Rakenduse peamine siht on tutvustada ja näidata külalistele läbi uuenduslike tehnoloogiate Delta hoonet. Prototüübi loomise käigus uuritakse, kas kodukasutajale mõeldud peaseadmel on võimalik luua segareaalsusrakendus, mida oleks võimalik kasutada terve Delta hoone suurusel alal.

Käesoleva töö esimeses peatükis antakse ülevaade segareaalsusest ja selle võimalustest. Teine peatükk käsitleb Quest 3 peaseadme tehnilisi omadusi. Töö empiirilises osas kirjeldatakse Quest 3 platvormile loodud prototüüp-rakenduse arendamise protsessi. Neljas peatükk kirjeldab bakalaureusetöö tulemusi.

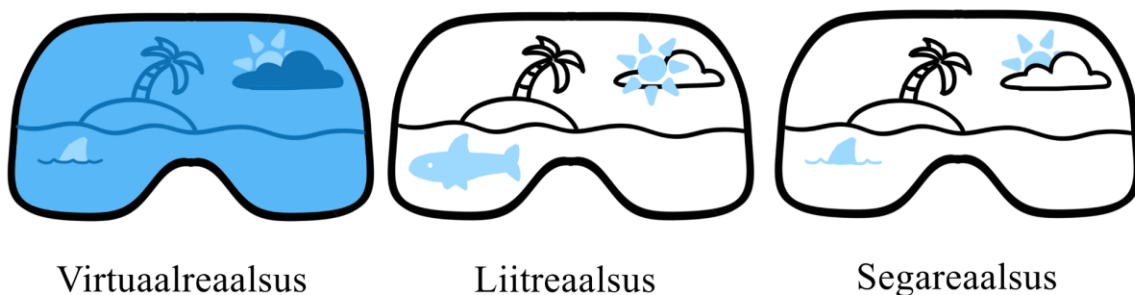
Esimeses lisa on lahti seletatud mõisted, mida bakalaureusetöös kasutatud on. Teine lisa sisaldab lisatud failide kirjeldust.

# 1. Segareaalsus

Segareaalsus on kiirelt arenev ja tänapäeval järjest enam esile kerkiv tehnoloogia. Jõudsalt laienev peaseadmete tootjate ja nende mõeldud rakenduste nimekiri on näide selle valdkonna suurest potentsiaalist [1].

## 1.1 Segareaalsuse tähendus

Kiirelt arenevas digitaalses maailmas võib inimestel tekkida arusaamatusi segareaalsuse mõistega. Segareaalsus hõlmab endas nii liit- kui ka virtuaalreaalsust ja seda, mis nende vahele jääb. Dipesh Gyawali kirjutas oma uurimuses, et see on hübriidtehnoloogia, kus reaalne maailm seguneb virtuaalsete elementidega. See kasutab nii liitreaalsuse kui ka virtuaalreaalsuse elemente ning seda saab kogeda vaid spetsiaalsete seadmetega. Gyawali sõnul erineb segareaalsus liit- ja virtuaalreaalsusest virtuaalsete elementide esitusviisi poolest. Tehnoloogiate võrdlemiseks kirjutab ta, et virtuaalreaalsus on tajutav vaid läbi vastavate prillide ning võimaldab virtuaalsete objektide käsitlemist. Füüsilist maailma see endas aga ei hõlma. Liitreaalsust saab kogeda, kas läbi liitreaalsuse seadmete või mobiiltelefonide kaudu, näiteks Snapchati rakendused. See tehnoloogia sisaldab reaalses maailmas, millele on lisatud virtuaalne vahekiht, kus interaktsioon kasutajaga aset leiab. Segareaalsuses saavad aga kasutajad ise manipuleerida virtuaalseid elemente reaalses maailmas, läbi seadmete, mis ümbritseva keskkonna virtuaalsusega ühendavad [2]. Seega liitreaalsuses liidetakse virtuaalsed elemendid kaameravoo peale, kuid segareaalsuses virtuaalsed elemendid ja reaalne keskkond kombineeritakse – virtuaalne objekt saab kaduda reaalse objekti taha. Tehnoloogiate erinevusi on demonstreeritud joonisel 1. Joonisel on virtuaalsed elemendid märgitud sinise värviga.



Joonis 1. Visuaalne virtuaal-, liit-, ja segareaalsuse võrdlus.

## 1.2 Segareaaalsuse rakendused

Segareaaalsusele on mitmeid erinevaid rakendusi. Näiteks on see kasulik tööriist õppimiseks. Liu ja Ba kirjutavad, et võrreldes virtuaal- ja liitreaalsusega pakub käsitletav tehnoloogia rohkem reaalsusele vastavat kogemust ning sügavamat immersiooni. Samuti soodustab see nende sõnul rohkem õppurite omavahelist suhtlust ning aitab teemasse süveneda [3].

Ka arstiteaduses leiab segareaaalsus kasutust nii õppimisel kui ka operatsioonide käigus. Näiteks Fidan jt on kirjeldanud, kuidas patsiendi maksa opereeriti kasutades 3D mudelit, mis oli varasemalt maksast loodud. Operatsiooni ajal paigutas kirurg HoloLens 2 prillide abil mudeli patsiendi maksa kohale ning tänu sellele oli lihtsam leida kasvajaid, mis opereerimist vajasisid [4].

Samuti on segareaaalsusest kasu tootmisprotsessis ja inseneerias. Jennifer Sokolowsky kirjutab, kuidas nende HoloLens 2 prillid aitavad ühel maailma suurimal lennukitootjal Airbus, suurendada tootmiskiirust ja vähendada tootmise käigus tekkivaid vigu. Näiteks saavad töölised panna digitaalse juhendi või diagrammi masina keerulise osa kohale, hoides sellega käed vabana ning kiirendada tootmiskiirust kolmandiku võrra. Artikkel sisaldab ka intervjuud lennukifirma inseneeriaosakonna asepresidendi, Jean-Brice Dumont'ga, kes ütles, et segareaaalsus on üks tähtsamaid vahendeid Airbusi jaoks ka tulevikus [5].

## 2. Meta Quest 3

Segareaalsustehnoloogia areng on viimastel aastatel toonud turule mitmeid erinevaid peaseadmeid erinevatelt tootjatelt. Siinses töös käsitletav rakendus on ehitatud Meta Quest 3 seadmele. See 2023. aastal turule tulnud peaseade võimaldab nii sega- kui ka virtuaalreaalsuse funktsioonide kasutamist. Alljärgnevas alapeatükikes käsitletakse Meta Quest 3 tehnilisi andmeid ning võrreldakse seda teiste sarnaste seadmetega.

### 2.1 Peaseadme tehnilised andmed

Joonisel 2 on näha Meta uusim peaseade, mis on teinud mitmes aspektis edusamme võrreldes oma eelkäijatega. Meta veebilehe andmetel, on Quest 3 esimene peaseade Snapdragon XR2 Gen 2 protsessoriga, mis võimaldab kaks korda paremat graafikaprotsessori jõudlust võrreldes peaseadme eelmise versiooniga. Sellel on kaks täisvärvilist kaamerat 18 piksliga kraadi kohta, mis tagavad 4,5 korda parema resolutsiooniga pildiedastuse kui Quest 2. Kolmandiku võrra suurem vahemälu võimaldab kasutada rohkemaid rakendusi optimaalse jõudlusega. Samuti on Quest 3 eelkäijaga võrreldes 30% kergem [6].



Joonis 2. Meta quest 3 peaseade koos pultidega.

Jim Martin kirjutas PCWorld artiklis, et Meta Quest 3 seade on murranguline kuna vastupidiselt eelnevatele versioonidele, toetab see lisaks virtuaalreaalsusele ka segareaalsust. Parema värviedastusega kaameratega võib tekkida tunne, nagu silme ees ei olekski ekraani. Tänu Quest 3 sügavussensorile, on sellel võimekus ümberringi vaadates skaneerida kasutaja tuba ja mööblit. Seade suudab korraga hoida mälus vaid üht tuba ning töötab kõige paremini nelinurksete seinte ja siledate lagedega, seega rakenduste loomise võimalused on piiratud. Lisaks toob Martin välja, et suur hüpe võrreldes oma eelkäijatega on toimunud ka graafika

jõudluses. Detailid on teravamad ja tekst loetavam. Samuti on ka vaateväli laienenud, mis tekitab kasutajale loomulikuma tunde. Quest 3 uus Snapdragon XR2 Gen 2 protsessor võimaldab lisaks paremale graafikale ka täpset värvide edastust ja detailsemaid tekstuure, mis on nõudlikumate mängude, nagu näiteks Red Matter 2, jaoks väga oluline [7]. Antud peaseadme võimekuse ja kasutusmugavuse kooslus teeb sellest hea valiku bakalaureusetöö projektis kasutamiseks.

## **2.2 Meta Quest 3 võrreldes teiste sarnaste seadmetega**

Quest 3 on enda valdkonnas üks populaarsemaid valikuid ning seda ka põhjusega. Nagu selgus Bondarenko jt uuringus, kus käsitleti Quest 3 ja Microsofti lipulaeva HoloLens 2 merehaiguse (ingl *motion sickness*) (Lisa I) tekitamist kasutajate seas. Uuringu tulemusena selgus, et Meta seade jääb HoloLens 2-le alla pildi kvaliteedis, kuna erinevalt HoloLensi holograafilisest tehnoloogiast, kasutab see ekraani, mis ümbritsevat maailma kuvab. Samuti tekitas Quest 3 kasutajatele ebamugavust siis, kui toimus kiire liikumine, kuna ekraanile kuvatav pilt oli väikse viivitusega. Omad vead olid ka Microsofti seadmel, näiteks selle vastuvõtlikkus raputustele kasutaja liigutuste tulemusena. Keeruliste läätse süsteemi tõttu, mida Microsoft kasutab objektide kuvamiseks läbipaistvale klaasile, tekitab pikaajaline kasutamine suuremat silmade väsimust võrreldes Quest 3 seadmega. Uuringu tulemusena leidsid Bondarenko jt, et halba enesetunnet tekitavad teatud määral mõlemad seadmed ja päris valmis igapäevaseks kasutamiseks pole veel kumbki [8].

Suurt turuosa selles valdkonnas omab ka Apple oma Apple Vision Pro peaseadmega. Jason Cross võrdleb oma artiklis Meta ja Apple'i seadmeid ning leiab, et enamus segareaalsuse kasutusvaldkondades jääb peale Quest 3. Kuigi Vision Pro on kasutajasõbralikum ning pakub rohkem võimalusi seadme produktiivseks kasutamiseks arvuti asemel, siis Quest 3 võidab paljudes teistes aspektides nagu mugavus, meelelahutus ning sotsiaalsed rakendused. Veel toob Cross välja, et Meta seade on ligi seitse korda odavam [9]. Seega on Quest 3 igati hea valik võrreldes sarnaste seadmetega, mis viimastel aastatel turule on tulnud.

### 3. Metoodika

Praktilise töö esimeses etapis tuli määratleda loodava rakenduse funktsionaalsus. Pärast segarealaalsuse tehnoloogia ja Meta Quest 3 peaseadme võimaluste analüüsimist otsustati keskenduda Delta keskuse majajuhi demonstratsiooni loomisele. Rakenduse siht on võimaldada külastajatel tutvuda õppehoone erinevate ruumide asukohtadega, täites ühtlasi projekti laiemat eesmärki tutvustada kasutajale Delta keskust. Ruumideks valiti AGVR labor, raamatukogu, suur auditoorium ning koostööruumid ehk kärjed.

Järgmises töö osas oli vajalik õppida kuidas luua Unreal Engine mängumootorit kasutades rakendus, mis töötaks Meta Quest 3 peal ning kuidas kasutada selle peaseadme segarealaalsuse võimalust. Selleks leidis materjale ja õpetusi nii YouTube'is<sup>1</sup> kui ka Meta veebilehel<sup>2</sup>.

#### 3.1 Kasutatud tarkvara

Arendus toimus keskkonnas Unreal Engine. Kuna vahepeal arendati ka väljaspool AGVR laborit, kus Quest 3 peaseadmes asusid, kasutati ka abistavat simulaatorit.

##### 3.1.1 Unreal Engine

Projekt valmis mängumootor Unreal Engine'i versioonil 5.4. See on kõigile tasuta kättesaadav mängumootor, millega saab teha nii algelisi kui ka väga suuremahulisi rakendusi. Mitmed praeguse aja populaarseimad ja edukaimad mängud on tehtud just selle mootoriga. Unreal Engine'is on võimalik luua rakendusi kasutades programmeerimiskeelt C++ või visuaalset programmeerimiskeelt ehk *Blueprints*. See võimaldab programmeerida ilma koodi kirjutamata, sidudes hoopis erinevaid loogika plokkide. Viimast varianti kasutati ka selles töös.

##### 3.1.2 Meta XR Simulator

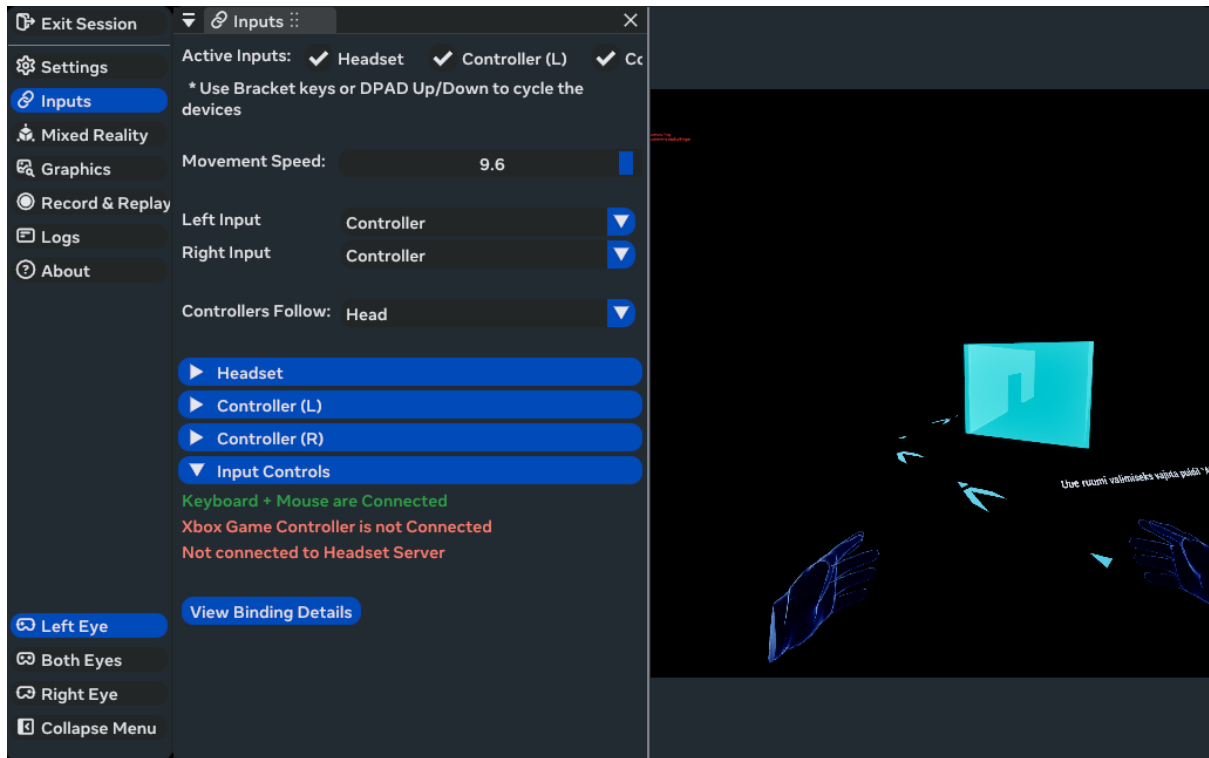
Üks peamisi tööriistu, mida töö käigus kasutati, oli Meta XR Simulator. See on üsnagi uus tarkvara, mis aitab arendada segarealaalsusrakendusi ka siis, kui arendajal Quest 3 peaseadet parasjagu ei ole. Samuti aitab see testida rakendusi kiiremini ja sujuvamalt, sest simulaatorit kasutades ei pea iga väikse muudatuse testimiseks programmi kompileerima ja peaseadet pähe panema. Meta dokumentatsioonis on kirjas, et simulaator võimaldab simuleerida erinevaid peaseadmete mudeleid ja nende sätteid. Sisendseadmetena saab kasutada nii hiirt ja klaviatuuri kui ka mängupulti. Samuti on välja toodud, et rakendusega saab vaadelda ka mõlema silma

---

<sup>1</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=8bNBgoL6TGA>

<sup>2</sup> <https://developers.meta.com/horizon/blog/building-mixed-reality-MR-meta-quest-3-connect-developers-presence-platform/>

pilti eraldi, kontrollimaks, et mõlemad pildid õigeid asju näitavad [10]. Rakendust on võimalik testida enda spetsiifilise toa kuju ja mööbli asetusega. Selleks tuleb peaseadmega tuba skaneerida ning seejärel JSON<sup>3</sup> formaadis simulaatorisse viia [11]. Käesolevas töös kasutati simulaatorit peamiselt juhul, kui arendati väljaspool AGVR laborit ehk peaseade polnud arendajale kättesaadav. Vaadet simulaatoriga testimisest on näha joonisel 3.



Joonis 3. Rakenduse testimine Meta XR simulatoris.

## 3.2 Arendus

Peale mängumootori paigaldamist alustati majajuhi rakenduse arendamisega. Selleks oli vaja luua projektile esmane struktuur, mis võimaldaks segareaalsuse funktsionaalsuste arendamist.

### 3.2.1 Alus

Rakenduse arendamist alustati Unreal Engine'is VRTemplate-nimelise alusprojekti loomisega. Selles aluses olid juba olemas peamised elemendid, mida on vaja virtuaal- ja segareaalsusrakenduste loomiseks. Näiteks mängija kood ning mängija käte jaoks kasutatavad mudelid. Peale projekti algset segareaalsuse jaoks seadistamist, mis hõlmas endas vajalike sätete muutmist ning Quest 3 rakenduste arendamiseks loodud pistikprogrammi MetaXR<sup>4</sup>

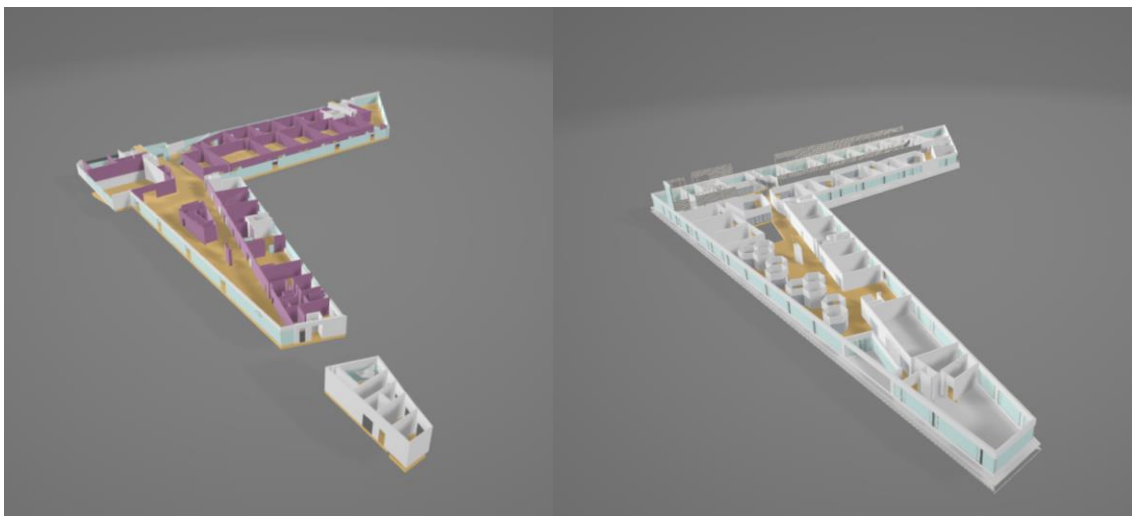
<sup>3</sup> <https://www.json.org/json-en.html>

<sup>4</sup> <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unreal/unreal-quick-start-install-metaxr-plugin/>

allalaadimist, loodi menüü ja nupud, millega mängija interakteeruda saab. Menüü abil saab mängija valida, kas alustada mängu või skaneerida keskkond enda ümber. Keskkonna skaneerimiseks tuli mängumootoris luua kood, mis saadab peaseadmele signaali, et alustada ümbruskonna tuvastamist. See funktsioon on Quest 3 peaseadmele sisse ehitatud ning eraldi programmeerimist ei vajanud. Menüü lihtsamaks kasutamiseks, loodi ka laserit meenutav element, mis positioneerub mängupuldi ja menüü vahel - nii oli näha, millist nuppu parasjagu sihitakse. Menüü loogika arendamisel võeti eeskujuks Meta loodud rakendus First Encounters. Selle tarkvara esimeses menüüs on võimalik skaneerida oma tuba või alustada mänguga, mille järel ilmub ekraanile hoiatus, mis paari sekundi möödudes kaob. Samasugust süsteemi järgiti ka käesoleva rakenduse loomisel.

### 3.2.2 Delta mudel

Majajuhi rakenduse eesmärgiks seati kuvada ruume nagu vaataja näeks neid läbi seinte. Selleks kasutati hoonest loodud kolmemõõtmelist mudelit. Joonisel 4 on näha Delta hoone 3D mudel, mis pärines algselt maja arhitektidelt, kuid seda optimeeris täiendavalt oma lõputöö raames Ranno Samuel Adson.



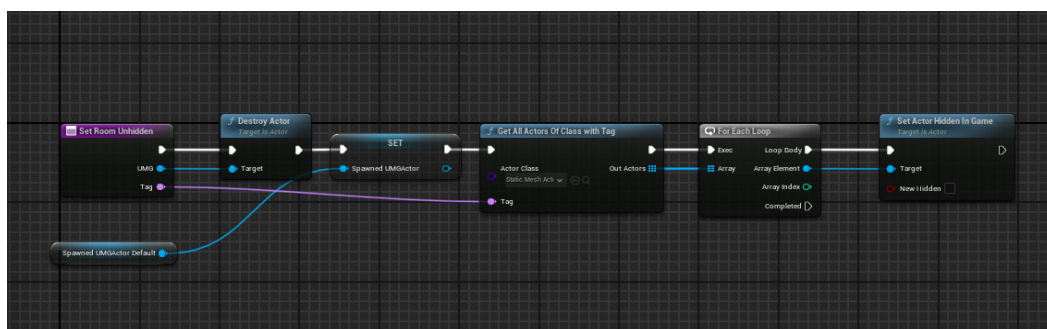
Joonis 4. Delta hoone mudel. Vasakul esimene ja paremal teine korrus.

Arendamise käigus tekkis probleeme Delta hoone virtuaalse mudeli üle viimisega Unreal Engine keskkonda. Algselt imporditi mudel FBX formaadis, kuid seejärel ei olnud enam võimalik menüüd sujuvalt kasutada, sest kadus ära abistav laser ja nupud ei reageerinud vajutustele. Kuna koheselt ei olnud selge, et probleem on seotud hoone mudeliga, võttis vea põhjuse määramine kaua aega. Lõpuks saadi aru, et viga tekkis kuna mudeliga tuli kaasa ka kokkupõrke funktsionaalsus (ingl *collision*), mis oli vigane ning ei vastanud reaalse seinade

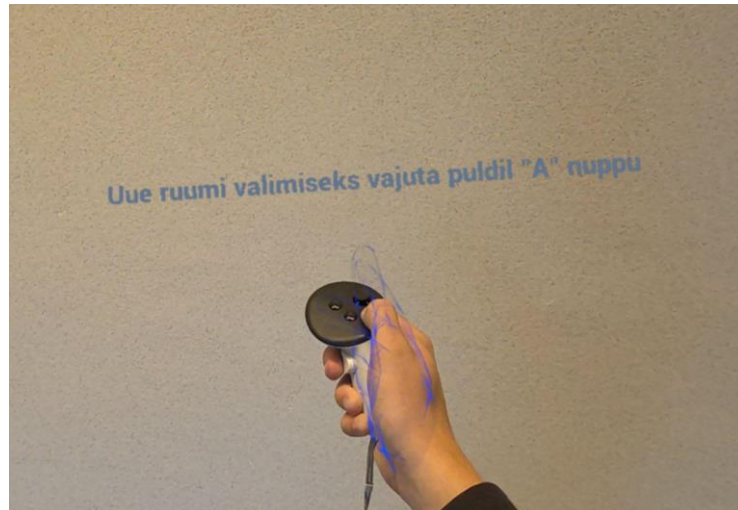
asukohale. Seetõttu põrkas nuppude vajutamiseks kasutatav laser enne menüüni jõudmist kokku olematute seintega. Kuna suure mudeli laadimine põhjustas ka jõudluse vähenemist, otsustati see projekti tuua hoopis glTF formaadis ja ilma kokkupõrgeteta. See formaat vajab vähem ressursse kui FBX, sest objektid salvestatakse ühtlustatud topoloogias. Tänu sellele on võimalik lugeda objektide andmed otse graafikaprotsessorisse, ilma vahepealsete teisendusteta. glTF vorming on kiirelt muutumas liit- ja segareaalsusrakendustes mudelite standardvorminguks. Seda väidet toetab fakt, et see formaat on kasutusele võetud ka suurte tehnoloogiaettevõtete liitreaalsusrakendustes nagu Google ja Facebook [12]. Mudeli abil oli võimalik alustada ruumide kuvamise funktsionaalsusega.

### 3.2.3 Ruumide kuvamine

Ruumide kuvamiseks loodi uus nuppudega menüü, kus igale nupule vastas üks tuba. Nupule vajutades ilmub nähtavale ruum oma reaalses asukohas ning rada, mis selleni juhatab. Erinevate ruumide kuvamiseks määrati neile vastavad sildid mille abil õiged elemendid nähtavaks teha. Funktsiooni, mis seda teostab, on näha joonisel 5. Peale ruumi valimist, ilmub mängija parema puldi juurde tekst, mis juhendab kuidas mõne teise toa asukohta vaadata. Uue ruumi kuvamiseks tuleb paremas käes oleval mängupuldil vajutada klahvi “A”. Teksti on näha joonisel 6. Seejärel ilmub uuesti ruumide valikute menüü ning seni vaadeldud tuba peidetakse. Vaadeldavate ruumide valikul võeti arvesse, et need asuksid nii esimesel kui ka teisel korrusel ning fuajeest vaadates erinevates suundades. Samuti näidati asukohti, mille vastu ka hoone külalised võiksid huvi tunda.



Joonis 5. Unreal Engine'i *blueprint* ruumi kuvamiseks.



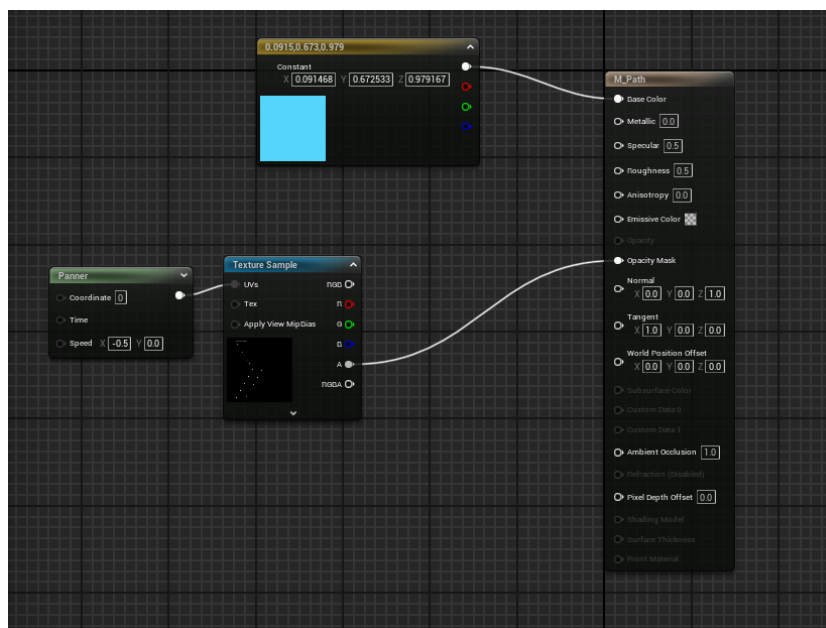
Joonis 6. Tekst puldi kohal.

Virtuaalsetele ruumidele loodi materjal, mille abil neid rakenduses kuvada. Algselt tehti materjal sinist värvi ning prooviti panna ka helendama, et see võimalikult märgatavaks teha. Kuna Quest 3 helendavaid materjale ei toeta, tuli sellest omadusest siiski loobuda. Kuna vaadeldavale virtuaalsele objektile lähenedes muutub element vaateväljas suuremaks ning kõik ruumid kuvatakse peaseadme kaamera pildist eespool, hakkasid need füüsilisi objekte katma. Seetõttu võis kasutaja jaoks, toale väga lähedal olles, olukord ohtlikuks muutuda, kuna reaalses keskkonnas asuvad objektid võisid peaseadmes kuvatava toa poolt tervenisti kaetud olla. Seetõttu muudeti ruumide materjal läbipaistvaks. Parandatud materjaliga on näha toa asukoht, kuid see ei varja täielikult reaalselt maailma, mis virtuaalse mudeliga kattub. Seega ei tohiks tekkida olukorda, kus kasutaja mingile takistusele või teisele inimesele otsa kõnnib. Läbipaistva materjaliga ruumide vaatamine fuajeest, on näha joonisel 7.



Joonis 7. Koostööruumide ehk kärgede vaade fuajeest läbipaistva materjaliga.

Igale ruumile lisati liikuvatest nooltest koosnev rada, mis näitab teekonda Delta hoone fuajeest vastava ruumini. Selleks tehti Microsoft Paint tarkvara abil noole kujuline tekstuur ning tõsteti see Unreal Engine keskkonda. Seejärel arendati uus materjal, mis võtab mainitud tekstuuri ning paneb selle ühest objekti otsast teise valitud kiirusel liikuma, seda on näha joonisel 8. Järgmisena asetati virtuaalse hoone mudeli suhtes õigetele kohtadele kahemõõtmelised ristkülikukujulised tasapinnad, mis kasutasid loodud materjali. Selleks, et mudelit kalibreerimise käigus liigutades, noolte asukoht paigast ei läheks, kinnitati loodud objektid mudeli külge.



Joonis 8. Noolte kuvamiseks loodud materjal.

Kuna algne mudel ei olnud mõeldud tubade eraldi kuvamiseks, tuli ka seda parendada. Mõned ruumid ja nende seinad olid ühes tükis kõrval olevate ruumidega, mistõttu tuli mudelit muuta. Selleks kasutati modelleerimistarkvara Blender<sup>5</sup> ning eraldati vajalikud seinad selliselt, et nende küljes ei oleks teiste ruumide elemente.

### 3.2.4 Asukoha kalibreerimine

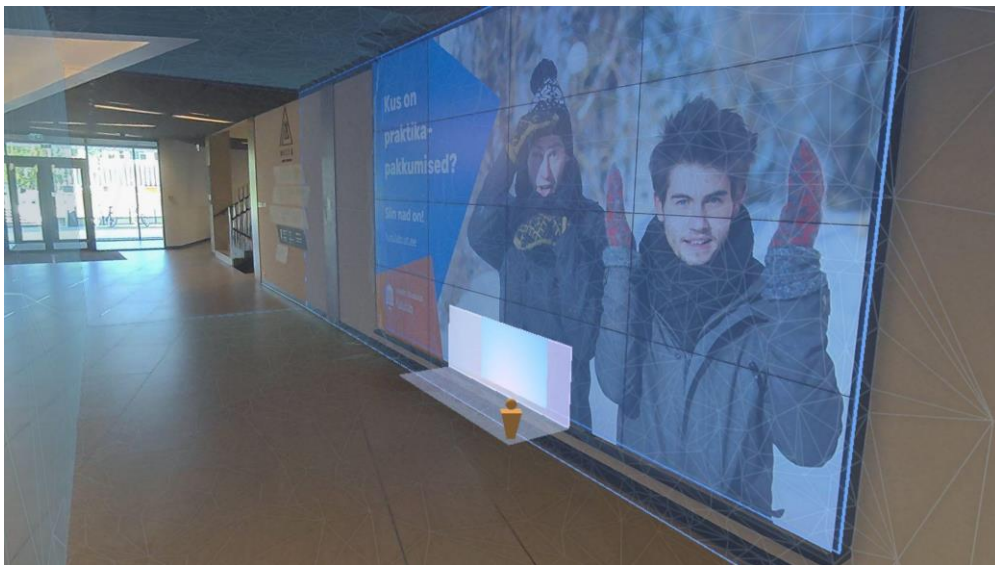
Kuna peaseadme orientatsioon muutub iga kord kui seade käima panna, muutus ka virtuaalse Delta mudeli asukoht suhtes reaalse keskkonnaga. Selle parandamiseks oli vaja luua kalibreerimismeetod, mis virtuaalse ja reaalse maailma omavahel vastavusse viiks. Kuigi lõputöö koostamise ajal avaldas Meta ka täiendavad võimalused Quest 3 seadme kaamerate

<sup>5</sup> <https://www.blender.org/>

infole ligi pääsemiseks, et näiteks objektituvastust teha, ei olnud see võimekus saadaval Unreal Engine mängumootoril [13]. Seetõttu pidi leidma mingi alternatiivse lahenduse kalibreerimiseks.

Kalibreerimiseks kasutati Quest 3 ruumi skaneerimisest saadud infot. Kuna rakendus on mõeldud Delta hoone fuajees kasutamiseks, võeti joondamise aluseks seinal asuv suur ekraan. Ümbruskonda tuvastades, märgib Meta peaseade iga ruumis asuva füüsilise objekti juurde, mis tüüpi objektiga on tegemist. Neid objekte saab ka manuaalselt juurde lisada, juhul kui automaatne tuvastamine neid ei määranud. Majajuhi rakendus määrab fuajee ekraani asukoha ja orientatsiooni ning vastavalt sellele liigutab virtuaalse mudeli õigesse kohta. Seega on rakenduse toimimiseks vaja tagada, et ekraan saaks õigesti märgistatud. See meetod kindlustab, et joendus on õige ükskõik mis pidi Quest 3 seade algselt käima pannakse.

Kuna Meta ruumi skaneerimise funktsionaalsus on seadnud piirangud, et ekraan peab olema kolmemõõtmeline objekt ning ei saa asuda seina küljes, tekkisid probleemid konkreetese Delta fuajees asuva ekraani märgistamisega. Joonisel 9 on näha, et ekraan asub seina peal ning seega ei saanud seda manuaalselt ekraaniks märkida. Piirangute tõttu oli objekti märkimiseks kaks varianti, kas luua päris ekraani alla kujuteldav kast, mille peale teha virtuaalne ekraan, või märkida ekraan põranda terve seina kõrguses ehk alustades madalamalt kui see reaalsuses on. Samuti muutus ka märgitud ekraani eesmine ja tagumine külg vastavalt sellele, millises järjekorras objekti kolm virtuaalset telge märgistati. Kui tekitada ekraan vale pidi, joendab programm kogu hoone mudeli vales suunas ning rakendus kaotab oma funktsionaalsuse.



Joonis 9. Delta õppehoone fuajees ruumi skaneerimine.

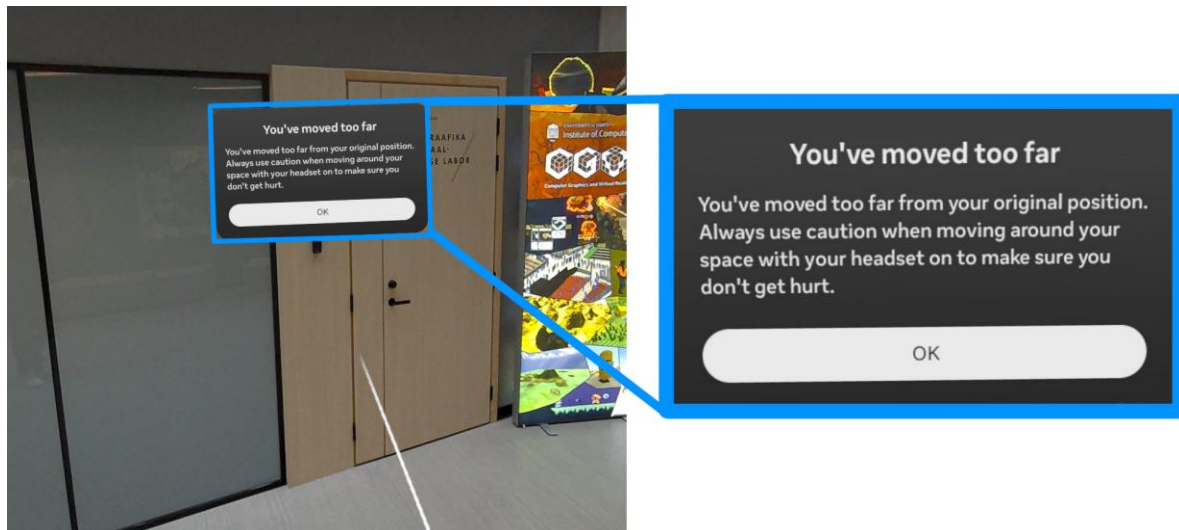
Keskkonna seadistamisprotsessi komplikatsioonide vähendamiseks otsustati muuta rakendust nii, et fuajee ekraani asukohta tuleb Quest 3 seadmes märkida, et tegu on seinamaaliga. Seinamaal on kahemõõtmeline objekt seinal ning ei vaja enda alla teisi objekte. Samuti tehti testides kindlaks, et selle eesmine külg on alati suunaga kasutaja poole, ükskõik mis järjekorras maali nurgad märkida. Seetõttu lihtsustab seinamaali funktsionaalsuse kasutamine ekraani täpse asukoha ja orientatsiooni määramist ning kiirendab keskkonna seadistamisprotsessi.

Kalibreerimiseks kaaluti algselt ka teistsuguseid lahendusi, näiteks manuaalselt nuppudega mudeli paika liigutamine. Seda implementeerides jõuti järeldusele, et selline lahendus on kasutajale ebamugav ning aeganõudev. Samuti mõeldi ka kasutada Quest 3 ruumiankruid (ingl *spatial anchor*), mis on punktid ruumis, mida saab salvestada peaseadmesse. Kui järgmisel korral sama ruum skaneerida, saab peaseade aru, et tegemist on sama asukohaga ning oskab paigutada õigesse asukohta ruumiankru, mille järgi saab teisi virtuaalseid elemente joondada [14]. See lahendus ei osutunud valituks, sest ei oldud kindel, kui hästi see funktsionaalsus suures ruumis, nagu on Delta hoone fuajee, töötaks. Kuna Quest 3 ei võimalda tervet fuajee suurst ala korraga skaneerida, tekib iga kord erineva kuju ja mõõtmetega tuba, sõltuvalt sellest, kuidas kasutaja ruumi skaneerib. Samuti võib ürituste ajal fuajees erinevaid plakateid ja väljapanekuid olla, mis omakorda vähendab tõenäosust, et peaseade tuvastab ruumi, sellena kuhu algne ankur paigutati. Töö algusfaasis katsetati ka Quest 3 ruumisskaneerimise funktsionaalsuse abil kogu hoone koridoride sisse lugemist, kuid katsetuse tulemusena tehti järeldus, et see lahendus pole rakendatav. Seda seetõttu, et peaseade võimaldas skaneerida umbes 15 meetri pikkuses koridori ning seejärel katkestas skaneerimise ja salvestas seni tuvastatud ala. Seetõttu otsustati ekraani asukoha põhjal kalibreerimise kasuks.

### **3.2.5 Mänguala piiride eemaldamine**

Vaikesätetega keskkonda seadistades, loob Quest 3 mängija ümber mänguala piirid. Kui nendest piiridest välja liikuda, kaovad vaateväljast kõik virtuaalsed elemendid ning näha jääb vaid seadme edastatav kaamera pilt. Selleks, et luua rakendus, mida kasutades, saaks mööda Delta hoonet ringi liikuda, oli vaja need piirid eemaldada. Algselt prooviti seda teha läbi peakomplekti seadete, lülitades välja sätte füüsilise ruumi funktsioonid (ingl *physical room features*). See andis küll soovitud tulemuse, kuid lülitas välja ka võimaluse ruumi ja ruumis olevaid objekte skaneerida. Seda funktsionaalsust oli aga vaja hoone mudeli kalibreerimiseks, sest selleks on seadmel vaja teada fuajees asuva ekraani asukohta. Seega otsiti teisi lahendusi piiride eemaldamiseks.

Uurimise tulemusena jõuti lahenduseni, mis hõlmas endas Unreal Engine's MetaXR seadetes kahe sätte aktiveerimist, mis lubavad piiride nähtavust muuta ning vaikimisi eemaldada. Selle tagajärjel töötab rakendus ilma mänguala piirideta ning võimaldab terve hoone ulatuses ringi liikuda, kuid mängu alguspunktist kaugemale liikudes, tekib ekraanile teavitus, et oled läinud liiga kaugemale. Kirjeldatud hoiatust on näha joonisel 10.



Joonis 10. Teavitus, et oled liikunud liiga kaugemale.

Kui teavitus kinni panna, töötab rakendus samamoodi edasi ning kaugemale liikumist ei takista, seni kuni mõne aja pärast teavitus jälle ette tuleb. Iroonilisel kombel tekitab see ohutust meelde tuletav teavitus ise kõige rohkem ohtlikke olukordi, kuna tekib liikuva kasutaja näo ette üsna ootamatult. Selline lahendus pole küll ideaalne, kuid parim, mida Quest 3 hetkel suurel alal töötava segareaalsusrakenduse jaoks võimaldab. Seetõttu otsustati antud meetodi kasuks.

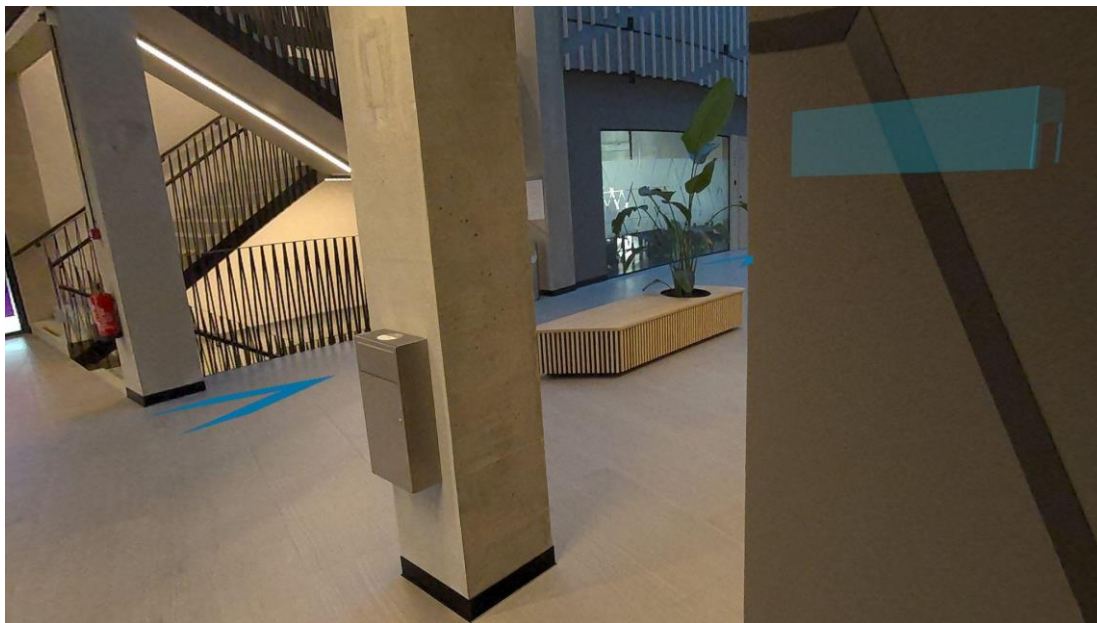
### 3.2.6 Segareaalsuse implementeerimine

Seni valminud projekt kasutas küll segareaalsuse elemente, nagu ruumi andmete järgi hoone mudeli kalibreerimine, kuid oma olemuselt oli siiski pigem liitreaalsusrakendus. Nagu kirjeldab käesoleva töö teine peatükk, tähendab segareaalsus olukorda, kus reaalsed objektid saavad mõjutada virtuaalseid elemente. Senine lahendus aga liitis vaid virtuaalsed elemendid kaameravoo peale.

Segareaalsuse implementeerimiseks võeti eesmärgiks peita suunavad virtuaalsed nooled reaalsete seinte taha. Seega oleks läbi seinte näha ruumid, kuid nendeni juhatav nooled ilmuks vastavuses reaalse vaateväljaga. Kuna Quest 3 tervet hoonet skaneerida ei võimalda, prooviti efekti saavutada olemasoleva hoone mudeli abil. Selleks võeti mudeli seadetes maha sätte mudeli visualiseerimiseks (ingl *rendering*) (Lisa I), kuid jäeti alles mudeli sügavusinfo

talletamine. See tekitab olukorra, kus pole näha virtuaalset hoonet, kuid nooled, mis nende nähtamatute seinte taga asuvad, on peidetud. Selline lahendus töötas Meta XR simulatoris, kuid ei töötanud päriselt Quest 3 peaseadme peal. Tõenäoliselt põhjustas probleemi mobiilse virtuaal- ja segareaalsuse jaoks kasutatav visualiseerimisprotsess<sup>6</sup>.

Teise lahendusena prooviti kasutada MetaXR pistikprogrammis sisalduvat materjali nimega PokeAHole, mis takistab enda taga olevate virtuaalsete objektide visualiseerimist. Materjal ise on kasutajale nähtamatu. Kuna nii tubade ja noolte materjal kui ka PokeAHole on läbipaistvat tüüpi, tekkis Unreal Engine'is probleeme nende kauguste sorteerimisega. Nooli oli kohati näha läbi PokeAHole materjali kohtades, kus need oleks pidanud olema peidetud. Lisaks peitis see materjal kohati ka ruumid, mis peaksid olema alati näha läbi seinte. Selle probleemi jaoks on mängumootoris võimalus anda igale läbipaistvale objektile järjekorra number, mis tagab, et üks objekt visualiseeritakse teise ees. Sellisel viisil tõsteti kõik ruumid järjekorras ette poole, et neid oleks näha alati läbi seinte. Antud meetod ei lahenda aga olukorda, kus ühelt või teiselt poolt vaadates peab nool olema kas seina ees või seina taga. Seetõttu muudeti noolte materjal läbipaistmatuks, mis parandas tekkinud probleemi. Joonisel 11 on näidatud AGVR labori juurde juhatavad nooled, mis on peidetud, kui need jäävad kasutaja vaatevälja suhtes seina taha.



Joonis 11. AGVR labori juurde juhatavad nooled.

<sup>6</sup> <https://developers.meta.com/horizon/blog/pc-rendering-techniques-to-avoid-when-developing-for-mobile-vr/>

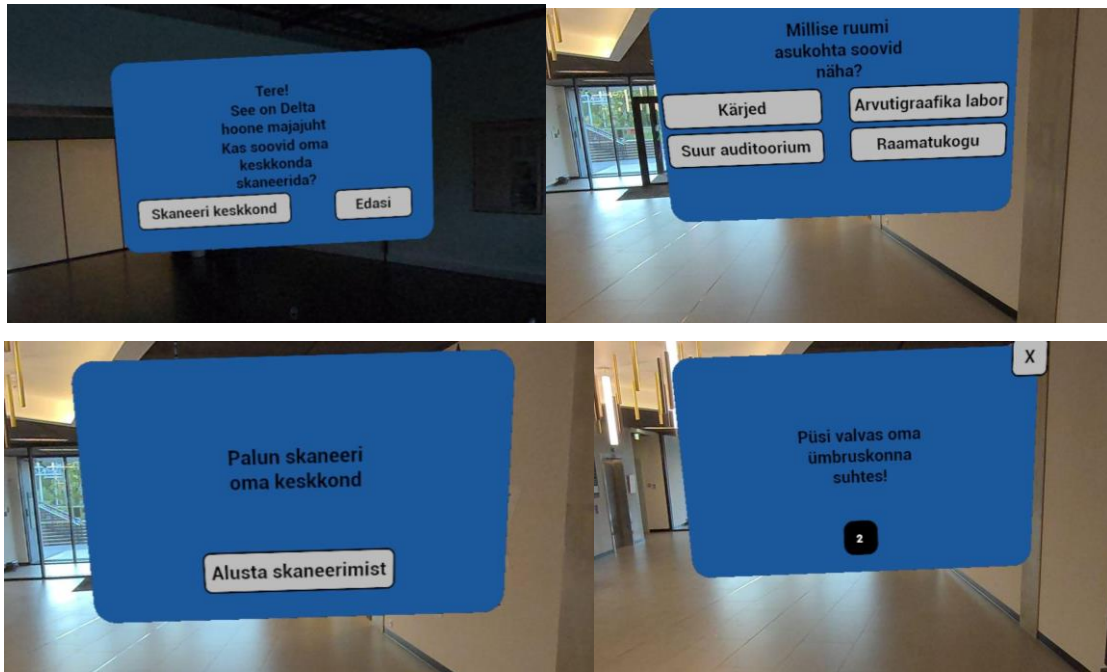
## 4. Tulemused

Töö tulemusena valmis segareaalsuse funktsionaalsusi kasutav majajuht Delta hoonele. Rakendusega on võimalik vaadata nelja asukohta, milleks on AGVR labor, raamatukogu, suur auditoorium ning koostööruumid ehk kärjed. Ruumid kuvatakse kasutajale hoonest loodud kolmemõõtmelise mudeli abil, viies see vastavusse reaalsete ruumide asukohtadega. Seetõttu tuleb rakenduse kasutamist alustada fuajeest, kus programm kalibreerib mudeli positsiooni ja orientatsiooni, kasutades seinal asuva ekraani asukohta. Joonisel 12 on näha AGVR labori asukoha kuvamine läbi seinte. Ruumid on kasutajale nähtavad läbi seinte, kuid rajad, mis nendeni juhatavad, on peidetud füüsiliste seinte taha. Seega sai täidetud töö eesmärk luua segareaalsusrakendus, mis oleks kasutatav Delta hoone ulatuses.



Joonis 12. Vaade rakenduses kuvatavale AGVR laborile.

Rakendusele loodi joonisel 13 kujutatud menüüd, mille kaudu on kasutajal võimalik käivitada uue keskkonna skaneerimine, ning valida erinevate vaadeldavate ruumide vahel. Juhul kui rakenduse käivitamisel ei tuvastata peaseadme mälus ühtegi salvestatud ruumi, kuvatakse kasutajale ühe nupuga menüü, mis suunab alustama ruumi skaneerimist. Kui ruum mälus olemas on, kuvatakse menüü, mis võimaldab keskkonna uuesti skaneerida või rakenduse kasutamist jätkata.



Joonis 13. Rakenduse erinevad menüüd.

Jõuti järeldusele, et kodukasutajale mõeldud seadmega, nagu Meta Quest 3, on võimalik luua segareaalsusrakendusi suurel alal kasutamiseks, kuid teatud piirangutega. Töö kirjutamise hetkel saab ruumi skaneerimist kasutada vaid umbes ühe suure toa suuruse ruumi tuvastamiseks, seega pole sellest kasu suurte hoonetega. Selles projektis kasutati ruumiandmete jaoks hoonest loodud mudelit, kuid see ei võimalda samasugust täpsust nagu peaseadmega skaneerimine. Hoone mudeli abil saab vaid seinte, akende, uste, ja põranda positsioonid, kuid see ei sisalda erinevaid sisustuselemente, mida peaseade tuvastada suudab. Samuti pole mudeli asukoht alati täielikult joondatud reaalse hoonega. See sõltub nii peaseadme ümbruskonna tuvastamise täpsusest kui ka kasutaja ekraani asukoha märkimise korrektsusest. Nende muutujate tõttu võib mudeli seinte asukoht olla kuni paarkümend sentimeetrit nihkes, mis vähendab segareaalsuse efekti.

Ideaalselt pole lahendatud ka mänguala piiride eemaldamine. Piirid saab küll maha võtta, kuid siiski tuleb fuajeest eemale liikudes ekraanile hoiatus, mis teatab, et kasutaja on liikunud liiga kaugemale. See rikub rakenduse kasutajakogemust, kuna enamasti tuleb seisma jääda ning nupule vajutada, et teavitus eest ära läheks. Küll aga suudab peaseade end ruumis hea täpsusega positsioneerida, sest mööda maja ringi liikudes suuri nihkeid mudeli ja reaalsuse vahel ei tuvastatud. Tänu sellele saab kaugemale liikumise hoiatuse kinni panna ning rakenduse kasutamist jätkata ilma probleemideta.

## Kokkuvõte

Segareaaalsusrakenduse loomiseks analüüsiti töös segareaaalsuse tähendust ning toodi välja selle reaalseid kasutusvaldkondi. Uuriti ka Meta Quest 3 peaseadme tehnilisi andmeid ja selle sobivust soovitud rakenduse loomiseks. Programmi arendati mängumootoris Unreal Engine, versioonil 5.4. Arendusprotsessis oli oluline osa ka Meta XR Simulatoril, mis lihtsustas rakenduse testimist, kui Quest 3 peaseadet ei olnud võimalik kasutada. Töö käigus võeti sihiks ning viidi ellu Delta hoonet tutvustava majajuhi loomine, mis segareaaalsusfunktsionaalsust kasutab. Selleks kasutati hoonest loodud kolmemõõtmelist mudelit, mille abil ruumid ja nende asukohad kasutajale nähtavaks tehti. Kasutaja juhatab ruumide juurde nooltest tehtud virtuaalne rada. Rakenduse loomise tulemusel järelitati, et Quest 3 peaseadmepel on võimalik arendada segareaaalsuse funktsionaalsusi kasutatav programm, kuid hetkel sobib seade paremini siiski väiksemal alal kasutatavate rakenduste jaoks.

Tulevikus saaks valminud tarkvara arendada, lisades süsteemi, mis vastavalt kasutaja asukohale, näitab kõige otsemat teed valitud ruumini. Hetkel toimivad suunavad rajad vaid fuajeest liikumist alustades. Segareaaalsuse võimaluste paremaks demonstreerimiseks, saab lisada interaktiivseid elemente, mida kasutaja fuajees või teistes hoone osades kogeda saaks. Näiteks virtuaalne pall koos sihtmärkidega, mida on võimalik põrgatada vastu reaalseid seinu, mis kasutaja ümber on.

## Viidatud kirjandus

- [1] R. Carter, „The Top Mixed Reality Headset Vendors for 2024“, XR Today. Viewed: 7 December 2024. [Online]. Available at: <https://www.xrtoday.com/mixed-reality/the-top-mixed-reality-headset-vendors-for-2024/>
- [2] D. Gyawali, „Mixed Reality: The Interface of the Future“, 2 September 2023, doi: 10.48550/arXiv.2309.00819.
- [3] L. Shuguang ja B. Lin, „Construction and Implementation of Embodied Mixed-Reality Learning Environments“, *2021 International Conference on Big Data Engineering and Education (BDEE)*, Aug 2021, pp. 126–131. doi: 10.1109/BDEE52938.2021.00029.
- [4] D. Fidan, G. Mero, L. I. Mazilescu, T. Heuer, ja G. M. Kaiser, „Mixed reality combined with ALPPS for colorectal liver metastases, a case report“, *Int. J. Surg. Case Rep.*, Vol. 109, Art. no. 108624, aug 2023, doi: 10.1016/j.ijscr.2023.108624.
- [5] J. Sokolowsky, „Airbus reaches new heights with the help of Microsoft mixed reality technology“, Source. Viewed: 8 December 2024. [Online]. Available at: <https://news.microsoft.com/source/features/digital-transformation/airbus-reaches-new-heights-with-the-help-of-microsoft-mixed-reality-technology/>
- [6] „Meta Quest 3: Mixed Reality VR Headset - Shop Now“. Viewed: 7 May 2025. [Online]. Available at: <https://www.meta.com/quest/quest-3/>
- [7] J. Martin, „Meta Quest 3 review: Mixed-reality game changer“, PCWorld. Viewed: 14 May 2025. [Online]. Available at: <https://www.pcworld.com/article/2101294/meta-quest-3-review-2.html>
- [8] V. Bondarenko, M. Attawna, G. T. Nguyen, ja F. H. P. Fitzek, „Motion sickness comparison of 2 XR approaches: camera+screen or hologram on transparent lens (Meta Quest 3 or Microsoft HoloLens 2)“, *2024 International Electronics Symposium (IES)*, Aug 2024, pp. 728–733. doi: 10.1109/IES63037.2024.10665757.
- [9] J. Cross, „Vision Pro vs Meta Quest 3: Does Apple really have the best headset?“, Macworld. Viewed: 14 May 2025. [Online]. Available at: <https://www.macworld.com/article/2244017/meta-quest-3-vs-vision-pro-design-features-apps-interface-entertainment-price.html>

- [10] „Meta XR Simulator Overview“. Viewed: 28 February 2025. [Online]. Available at: <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/xrsim-intro/>
- [11] „Meta XR Simulator JSON Format Rooms | Meta Horizon OS Developers“. Viewed: 28 February 2025. [Online]. Available at: <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/xrsim-test-rooms-json>
- [12] „glTF vs FBX: Which format should I use?“ Viewed: 16 April 2025. [Online]. Available at: <https://www.threkit.com/blog/glTF-vs-fbx-which-format-should-i-use>
- [13] „Quest Passthrough Camera API Out Now For Developers To Play With“. Viewed: 6 May 2025. [Online]. Available at: <https://www.uploadvr.com/quest-passthrough-camera-api-experimental-out-now/>
- [14] „Spatial Anchors Overview“. Viewed: 29 April 2025. [Online]. Available at: <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/unity-spatial-anchors-overview>

## Lisad

### I. Sõnastik

**Peaseade** (ingl *headset*) – Üldnimetus kõikidele peaskantavatele seadmetele.<sup>7</sup>

**Merehaigus** (ingl *motion sickness*) – Liikumisest põhjustatud haigus, mida iseloomustab iiveldus.<sup>8</sup>

**Visualiseerimine** (ingl *rendering*) – Andmete teisendamine kuvamiseks või printimiseks sobivasse vormingusse. Näiteks kiirte jälituse meetodi puhul võetakse kolmemõõtmelise objekti (või objektide kogumi) matemaatiline mudel ja teisendatakse see kahemõõtmeliseks bittrasterkujutiseks, mida saab ekraanil vaadata. Veebilehitsejad teisendavad HTML dokumente arvutiekraanil nähtavaks tekstiks ja piltideks.<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> <https://eevr.ee/vr-dictionary/>

<sup>8</sup> <https://www.merriam-webster.com/dictionary/motion%20sickness>

<sup>9</sup> <http://www.vallaste.ee/>

## **II. Lisatud failid**

Lisatud kaustas „DeltaMRGuide“ on kaks faili – „DeltaMRGuide.apk“ rakenduse paigaldamiseks Quest 3 seadmele ning „README.md“, mis sisaldab kasutusjuhendit keskkonna skaneerimiseks.

### **III. Litsents**

#### **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Jasper Luik,

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Delta õppehoone segareaalsusrakendus Meta Quest 3 platvormil“, mille juhendaja on Madis Vasser, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Jasper Luik*

**15.05.2025**