

Ehitusinfo mudelite visualiseerimine virtuaalreaalsuses

Töö nr: 4-14/86 (TTK), M13116/17 (RKAS)



Töö teostaja andmed:

Asutus: Tallinna Tehnikakõrgkool
Registrikood: 70003773
Aadress: Pärnu mnt 62, Tallinn 10135
Telefon: 6664500
E-post: tktk@tktk.ee
Veebiaadress: www.ttkk.ee
Vastutav täitja: Martti Kiisa (e-post: martti.kiisa@tktk.ee)
Uuringu koostajad: Egert-Ronald Parts (e-post: egert-ronald.parts@tktk.ee)
Karin Lellep (e-post: karin.lellep@tktk.ee)
Martti Kiisa (e-post: martti.kiisa@tktk.ee)
Christin Algo (e-post: cchristinalgo@gmail.com)

Tellija andmed:

Ettevõte: Riigi Kinnisvara AS
Registrikood: 10788733
Aadress: Lelle 24, Tallinn 11318
Telefon: 6063400
E-post: info@rkas.ee
Veebiaadress: www.rkas.ee
Kontaktisik: Silver Ader (e-post: silver.ader@rkas.ee)

11.07.2018

SISUKORD

Sissejuhatus	4
1. Virtuaalreaalsuse ülevaade	6
1.1. Virtuaalreaalsuse olemus	6
1.2. Ajalugu	8
1.3. Kasutamine ehitusvaldkonnas	12
2. Virtuaalreaalsuse riistvara	13
2.1. HTC Vive	16
2.2. HTC Vive Pro	17
2.3. Oculus Rift	18
2.4. Pimax 4K	19
2.5. Pimax 8K	19
2.6. Windows Mixed Reality prillid	20
3. Mudelid	22
3.1. Kasutatud projekteerimistarkvarad	22
3.2. Reviti näidismaja	22
3.3. KODA moodulmaja	24
3.4. Viimsi riigigümnaasium	26
3.5. Kohtumaja	28
4. Virtuaalreaalsuse tarkvarad	29
4.1. IrisVR Prospect 2.1.1	33
4.1.1. Tarkvara lühikirjeldus	33
4.1.2. Tarkvara funktsionaalsus	34
4.1.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse	36
4.1.4. Kasutuskogemus	40
4.1.5. Koondhinnang	44
4.2. VRcollab 0.9.2	45
4.2.1. Tarkvara lühikirjeldus	45
4.2.2. Tarkvara funktsionaalsus	45
4.2.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse	48
4.2.4. Kasutuskogemus	49
4.2.5. Koondhinnang	51
4.3. Enscape 2.2.3	52
4.3.1. Tarkvara lühikirjeldus	52
4.3.2. Tarkvara funktsionaalsus	52

4.3.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse.....	54
4.3.4. Kasutuskogemus.....	56
4.3.5. Koondhinnang	60
4.4. Autodesk Revit Live 2.1.781	61
4.4.1. Tarkvara lühikirjeldus	61
4.4.2. Tarkvara funktsionaalsus.....	61
4.4.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse.....	63
4.4.4. Kasutuskogemus.....	64
4.4.5. Koondhinnang	67
4.5. Fuzor 2018 Educational 4.0	68
4.5.1. Tarkvara lühikirjeldus	68
4.5.2. Tarkvara funktsionaalsus.....	68
4.5.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse.....	72
4.5.4. Kasutuskogemus.....	73
4.5.5. Koondhinnang	76
5. Järeldused, soovitused ja kokkuvõte.....	77
Kasutatud allikad	80
Lisa 1 – Kuvatõmmised Reviti näidismajast.....	82

SISSEJUHATUS

Aasta-aastalt suureneb ehitusvaldkonnas ehitusinfo mudelite kasutamine ja lisandub juurde täiendavaid viise selle informatsiooni visualiseerimiseks. Olemasolevad virtuaalreaalsuse (edaspidi: VR) süsteemid on tõestanud, kuidas läbi tajutavama visualiseerimise paraneb otsustajate ja hoone kavandajate vaheline suhtlus ning seeläbi soovitud lõpptulemuse saavutamine. 2016. aastal läbiviidud uurimistööst „Liitreaalsuse kasutatavus ehitusvaldkonnas“ selgus, et olemasolevad liitreaalsuse seadmed ja rakendused ei ole veel piisavalt töökindlad, et neid saaks ehitusvaldkonnas efektiivselt kasutada.

Viimaste aastatega on järjest enam kõlapinda saanud virtuaalreaalsus, peamiselt tänu võimekate VR prillide turuletulekuga ja neile loodavatele keskkondadele [1] [2] [3] [4]. Seeläbi on oodata virtuaalreaalsuse seadmete jõulisemat arengut, tänu millele on suur potentsiaal neid kasutada ka ehitusvaldkonnas. Virtuaalreaalsusel on suhteliselt pikk ajalugu, kuid alles viimase paari dekaadi tehnoloogilised arengud on teinud sellest professionaalse ja kättesaadava abivahendi paljude eri valdkondade jaoks. Lisaks tarkvarade hüppelisele arengule on riistvara ja selle komponendid muutunud piisavalt kompaktsaks ning võimsaks – see on loonud olukorra, kus virtuaalreaalsus ei ole pelgalt meelelahutuslik tehnoloogia, vaid aitab senisest oluliselt kiiremalt, efektiivsemalt ja usaldusväärsemalt läbi viia tõsisid tööoperatsioone kõikmõeldavates eluvaldkondades.

Tänu võimekamatele seadmetele on ehitusinformatsiooni mudelite esitamine virtuaalreaalsuses lihtsam ja töökindlam kui liitreaalsuses. Selle peamiseks põhjusteks on riistvara suurem jõudlus ning tehis- ja tegeliku maailma omavahel sidumise vajaduse puudumine, mistõttu on virtuaalreaalsuses kasutataja positsioneerimine ja jälgimine töökindlam. Mõlema keskkonna jaoks on 3D informatsiooni ettevalmistamine sarnane, mistõttu on mõistlik käsitleda vastavate töövoogude väljatöötamist paralleelselt.

Ehitusinfo mudelid on andmemahukad ja need on vastavalt tarkvarale salvestatud erinevates formaatides. Enamjaolt kasutatakse erinevate osamudelite kokkütõstmisel avatud standardile vastavat .ifc formaati. Virtuaalreaalsuses visualiseeringu tegemiseks on mitmeid erinevaid tarkvarasid ning sõltuvalt modellerimistarkvarast ja selle failiformaadist tulenevatest iseärasustest tuleb visualiseeringu teostamiseks kasutada erinevaid lähenemisi. Käesoleva uuringu ülesehitus toetab ja täiendab 2016. aastal valminud uurimistööd „Liitreaalsuse kasutatavus ehitusvaldkonnas“.

Käesoleva Riigi Kinnisvara AS-i poolt tellitud uuringu eesmärgiks on testida VR prille ehitusinfo mudelite vaatlemisel VR keskkonnas. Töö käigus võrreldakse erinevate toodete toimivust ning markeeritakse puudused, eelised ja omavahelised erinevused. Lõpptulemusena pakutakse lahendusi, mis lihtsustavad ja kiirendavad mudelite visualiseerimist. Töös keskendutakse virtuaalreaalsuse peakomplektidele ja nn AEC (*architecture, engineering and construction*) tarbeks arendatud visualiseerimistarkvaradele. Seejuures odavamaid nutitelefonidel baseeruvaid peakomplekte ei vaadelda, kuna nende rakendatavus ehitussektoris on suhteliselt piiratud. Eesmärgiks on anda tarkvaradest ja riistvaradest ülevaade ning testida neid erineva keerukuse ja mahuga ehitusinfo mudelite peal. Seejuures hinnatakse nii funktsionaalsust kui ka kasutuskogemust ning antakse soovitusi töövoogude ja protsesside osas. Võimalikult palju on kirjeldatud katsetustel kogetud probleeme, et teised kasutajad teaksid nendega juba varakult arvestada. Antud tööd lugedes tuleb mees pidada, et virtuaalreaalsus tervikuna on pidevas ja üsna kiires arengufaasis – uusi seadmeid ning tarkvarasid (ja nende uuendusi) lisandub pea iganädalaselt, mistõttu töös toodud informatsioon on fikseeritud uuringu teostamise perioodiga ning vajab hilisemalt pidevat uuendamist.

Uuringu autorid on Egert-Ronald Parts, Karin Lellep, Martti Kiisa ja Christin Algo. Töö käigus valmis ka C. Algo lõputöö „Ehitusinfo mudelite visualiseerimine virtuaalreaalsuses“ [5]. Uuringu valmimisel on suur abi olnud Riigi Kinnisvara AS töötajatest ja Digitaalehituse klatri liikmetest.

1. VIRTUAALREAALSUSE ÜLEVAADE

1.1. Virtuaalreaalsuse olemus

Vaatamata sellele, et virtuaalreaalsuse kontseptsiooni tutvustati juba suhteliselt ammu, on see muutunud igapäevaselt kasutatavaks alles viimastel aastatel. VR tehnoloogia loob realistliku kolmemõõtmelise pildi (näiteks 360-kraadine video või pilt) või keskkonna, milles on võimalik ringi liikuda.

Üheks kõige levinumaks virtuaalreaalsuse tooteks on VR peakomplekt, kuid on olemas ka erinevad CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) süsteemid. CAVE on oma põhimõttelt 3D ekraan, mis töötati esmakordselt välja Elektrooniliste Visualiseerimiste Laboratooriumis Illinoisi ülikoolis Chicagos. Esimaskordselt tutvustati seda 1992. aastal SIGGRAPH konverentsil. CAVE'i eeliseks on suured ekraanid, mis asuvad kasutajast eemal. Tulemuseks on kolmemõõtmelise visualiseerimise süsteem, mis võimaldab mitmel kasutajal korraga keerulisi 3D mudeleid vaadelda ja neid ka töödelda.

VR peakomplekte saab jagada nende töötamiseks mõeldud riistvara alusel. Tippklassi peakomplektid on mõeldud töötama personaalarvutitega. Lisaks eelnevatele on olemas ka peakomplektid, mis on mõeldud töötama mängukonsoolidega, peamiselt PlayStation VRiga. Levinumaks on muutunud ka nõ autonoomsed peakomplektid, mis sisaldavad endas kõiki vajalikke komponente (graafikakaart, protsessor, ekraan, aku, sensorid, juhtpult jne).

Neile järgnevad odavamad peakomplektid, mis töötavad nutitelefonidega. Peakomplektil on olemas tühimik, kuhu on võimalik asetada nutitelefoni. Sellise ülesehitusega peakomplektid on mõeldud funktsionaalsuselt lihtsamate VR kogemuste pakkumiseks nagu näiteks videote ja filmide vaatamine.

Peamised aspektid, mis on vajalikud VR seadmete tööks [6]:

- Arvutis, mängukonsoolis või telefonis asuv riistvara loob, töötleb ja edastab andmeid, mis moodustavad digitaalmaailma.
- Juhtimisseadmed, mis lihtsamate VR peakomplektide puhul võimaldavad tavalist keskkonnas liikumist ning suhtlemist ainult mõne peakomplektil asuva nupuga. Rohkem arendatud peakomplektid on varustatud käes hoitavate juhtimisseadmetega.
- Pilt jõuab kasutajani ekraani abil. On olemas erinevaid ekraanitüüpe. Parematel prillidel kasutatakse prillides kahte eraldi ekraani. Odavamad peakomplektid kasutavad nutitelefonil ekraani või üksikut OLED ekraani.
- Peakomplektid sisaldavad läätsesid, mis aitavad silmadel fokuseerida ekraanile. See võimaldab virtuaalreaalsusel töötada üksikutel ekraanidel nagu nutitelefonide ekraanid. Rohkem arenenud peakomplektid võimaldavad läätsede kohandamist. Mida selgem on kuvatav pilt, seda vähem silmad väsivad.
- Kasutaja kohalolekutunde suurendamiseks kasutatakse peamiselt 100- kuni 120-kraadiseid vaatevälju. Inimese horisontaalne vaateväli on keskmiselt 210 kraadi.
- Mida kõrgem on kaadrisagedus, seda parem on süüve. Üldiselt loetakse rahuldavaks kaadrisageduseks vahemikku 60 kuni 120 kaadrit sekundis (edaspidi: FPS). Mida väiksem on kaadrisagedus, seda suurem on tõenäosus süüve kadumiseks ja enesetunde halvenemiseks.
- Jälgimisandurid võimaldavad peakomplektil mõista, millal kasutaja liigutab oma pead, käsi ning keha. Selle alusel liigutatakse sisuvoogusid. Peakomplektidel on olemas liikumisandurid ning PlayStation VR, Oculus Rift ja HTC Vive puhul on need olemas lisaseadmetel, mis positsioneerivad kasutaja ruumis.
- Heliga varustamine toimub kas peakomplekti siseselt või eraldi lisakõlaritega.

Võimalikult realistlik kohalolekutunne virtuaalruumis oleneb VR seadme kvaliteedist, tehnoloogiast ja tehismaailma detailsusest. Kõige realistlikuma tehismaailma puhul puudub kasutajal piiritunnetus ning pärismaailma lõpu ja virtuaalreaalsuse alguse tunnetamine on raske, kui mitte võimatu.

Eristatakse erinevat tüüpi virtuaalreaalsuse süüveid [6]:

- Mitteimmersiivne – virtuaalkeskkond sisaldab mõningaid pärismaailma osasid, mis vähendab merehaiguse tekkimise tõenäosust. Siinkohal võib näiteks tuua *virtual windowsi*, mille korral on ekraani abil imiteeritud akent.
- Pooleldi immerssiivne – VR simulatsioonid kasutavad kogemuse tekitamiseks kombinatsiooni pärismaailma objektidest. Kõige lihtsam näide sellest on juhtkabiini simulatsioon, mida kasutatakse nii mängude kui ka nt lennuõppe puhul. See tundub reaalne ning visuaalid on digitaalsed, samas kui juhtseadmed on füüsilisel kujul.
- Täielikult immerssiivne – kogemuse saamiseks tekitatakse digitaalne keskkond, ainsaks erandiks on kasutaja käes olevad juhtseadmed.

1.2. Ajalugu

Käesolevas peatükis on lühikokkuvõttena välja toodud virtuaalreaalsuse ajaloo tähtsamad verstapostid – kuidas see tehnoloogia on arenenud ning millised põhilised teerajajad on teed sillutanud tänapäeva virtuaalreaalsuseni. Siinkohal on põhiliselt refereeritud Virtual Reality Society virtuaalreaalsuse ajaloo artiklit [7], kuid internetis leidub hulgaliselt VR ajalugu käsitlevaid ülevaateid, kust saab antud valdkonnast põhjaliku ülevaate (nt [video](#)).

Enne virtuaalreaalsuse kontseptsiooni väljamõtlemist ja formuleerimist olid olemas virtuaalreaalsuse alged, mida otseselt virtuaalreaalsuseks nimetada ei saaks. Kui keskenduda virtuaalreaalsusele kui illusiooni loomisele (et kasutaja on kuskil, kus ta tegelikult ei ole), siis on üks varajasematest katsetustest virtuaalreaalsust luua 19. sajandi 360-kraadised panoraammaalid ([foto 1](#)). Nende maalide mõte oli täita vaataja kogu vaateväli, mis omakorda tekitaks tunde, nagu viibitaks mõne ajaloolise sündmuse tegevuspaigas.



Foto 1. Panoraammaal Borodino lahingust [7]

1838. aastal näitas Charles Wheatstone'i uuring, et aju töötleb kummagi silma erinevad kahemõõtmelised pildid üheks kolmemõõtmeliseks objektiks. Kahe kõrvuti asuva stereoskoopilise pildi ([foto 2](#)) kõrvuti vaatamine või fotode vaatamine läbi stereoskoobi ([foto 3](#)) andis pildile sügavuse ja tunde, nagu viibitaks kohapeal.

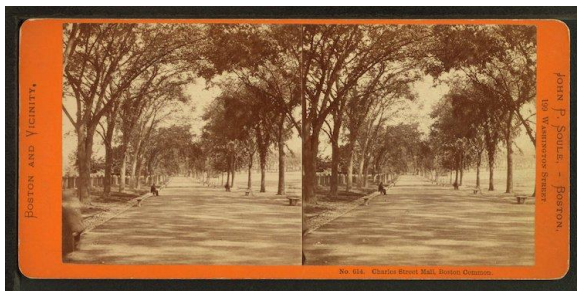


Foto 2. Stereoskoopiline foto [7]

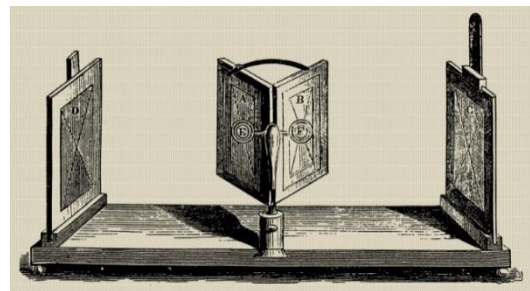


Foto 3. Charles Wheatstone'i peegelstereoskoop [7]

Aja jooksul on inimkond loonud mitmekülgseid viise meelte stimuleerimiseks. Asjad võtsid uue pöörde 20. sajandil elektroonika ja arvutitehnoloogia kasutuselevõttuga. 1929. aastal lõi Edward Link treeningsimulaatori ([foto 4](#)), mis oli tõenäoliselt esimene täielikult elektromehaaniline lennukisimulaator. Seda juhiti mootoriga, mis olid ühendatud rooliga. Muuhulgas suutis simulaator jäljendada turbulentsi ja muid lendamisega seotud nüansse.



Foto 4. Linki treeningsimulaator [7]

PYGMALION'S SPECTACLES

By STANLEY G. WEINBAUM

Author of "The Black Flame," "A Martian Odyssey," etc.

© 1935 by Constellation Publications, Inc.



Joonis 1. Pilt Stanley G. Weinbaumi loost [7]

1930. aastal kirjutas ulmekirjanik Stanley G. Weinbaum loo prillidest (joonis 1), mis lasevad vaatajal kogeda ulmelist maailma holograafia, lõhna, maitse ja puudutuse kaudu. Tagantjärei võib väita, et sellega kirjeldas ta VR prillide põhimõtet just sellisena, nagu me tänapäeval seda tunneme.

1950ndate aastate keskpaiku arendas Morton Heilig välja simulaatori nimega *Sensorama* (foto 5), mille ta patenteeris 1962. aastal (vt video). Seade edastas kasutajale lisaks stereoskoopilisele pildile ja helile ka lõhna ning vibratsiooni ning pidi olema tulevikukino prototüübiks.

Morton Heiligi järgmine suurem leiutus oli *Telesphere Mask* (foto 6), mille ta patenteeris 1960. aastal. See oli esimene pähe kinnitav ekraan (HMD), mis võimaldas vaadata stereoskoopilist videot ning kuulda stereoheli.



Foto 5. Morton Heiligi
Sensorama [7]



Foto 6. Morton Heiligi *Telesphere Mask*
[7]



Foto 7. Philco Corporationi
Headsight [8]

1961. aastal arendasid *Philco Corporation* insenerid HMD-d edasi ning valminud seadet tuntakse tänapäeval *Headsight* nime all (foto 7). See koosnes videoekraanist mõlemale silmale ning magnetilisest jälgimissüsteemist, mis oli ühendatud kaameraga. Seade töötati välja selleks, et võimaldada sõjaväel kaugelt jälgida ohtlikke olukordi. Pealiigutused liigutasid eemal asuvat kaamerat, mis omakorda võimaldas kasutajal loomulikult keskkonnas ringi vaadata.

1968. aastal lõi Ivan Sutherland ja tema õpilane Bob Sproull esimese virtuaal- ja liitreaalsuse peakomplekti, mis oli ühendatud arvutiga (vt video). Selle nimeks oli *Sword of Damocles* (foto 8). See oli suur laest alla rippuv konstruktsioon ning kasutaja kinnitati selle külge rihmadega (vt video). Paraku oli see liiga raske mugavaks kandmiseks. Seade võimaldas kuvada ainult kõige lihtsamaid jooniseid.

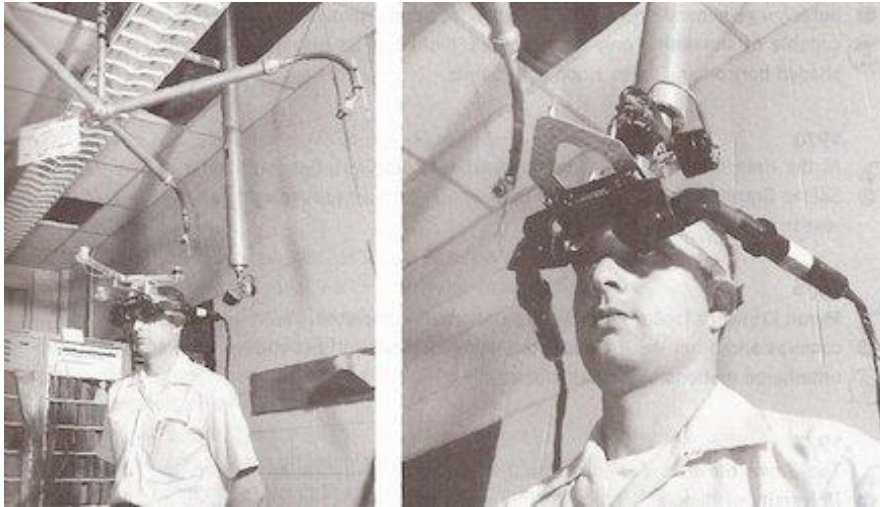


Foto 8. Ivan Sutherlandi Sword of Damocles [7]

1969. aastal arendas Myron Krueger välja tehnoloogia, mida ta nimetas tehisreaalsuseks (*artificial reality*). See koosnes arvuti poolt genereeritud keskkondadest, mis reageerisid inimese liigutustele. Erinevate projektide tulemusena arendati välja Videoplace (foto 9) tehnoloogia, mis võimaldas inimestel teineteisega suhelda interaktiivses arvuti poolt genereeritud keskkonnas isegi siis, kui nad paiknesid erinevates asukohtades.

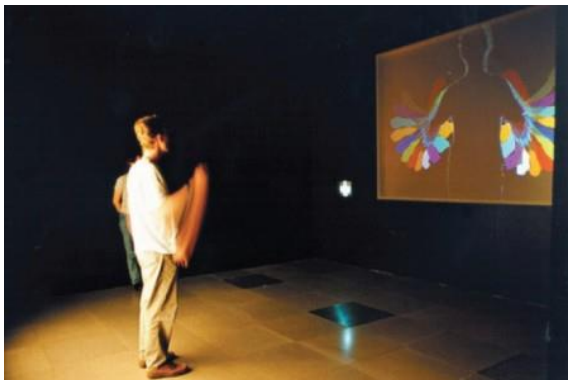


Foto 9. Myron Kruegeri Videoplace tehnoloogia [9]



Foto 10. EyePhone prillid vasakul ja paremal Dataglove kindad [7]

1987. aastal mõtles visuaalse programmeerimise labori (VPL) looja Jaron Lanier välja termini virtuaalreaalsus. Tema ettevõtte VPL uuringute kaudu arendati välja virtuaalreaalsuse varustus näiteks nagu Dataglove ja EyePhone pea külge kinnitav ekraan (foto 10). See oli esimene ettevõtte, mis müüs virtuaalreaalsuse prille ja kindaid.

Järgnevatel aastatel muutusid virtuaalreaalsuse seadmed järjest kättesaadavamaks ka laiemale tarbijaskonnale. 1991. aastal andis The Virtuality Group välja mitmeid mängu- ja masinaid (foto 11). Mängijad kandsid VR prille ja mängisid reaalses stereoskoopsete 3D visuaalidega. Mitme mängijaga mängimiseks olid seadmed omavahel ühendatud.



Foto 11. Virtuality Groupi arkaadmasinad [7]



Foto 12. SEGA peakomplekt [7]

1992. aastal tutvustas film *The Lawnmower Man* virtuaalreaalsuse kontseptsiooni suuremale publikule. See põhines Jaron Lanieri elulool ja selles kujutati teadlast, kes kasutas virtuaalreaalsust vaimse puudega patsiendi ravimisel. Filmis kasutati ehtsaid VR seadmeid, mis olid pärit VPL uuringute laboritest.

1993. aastal tutvustati VR peakomplekti *Sega Genesis* mängukonsooli jaoks (foto 12). Prototüübi prillidel oli pealiigutuste jälgimise funktsioon, stereoheli ja LCD ekraanid visiiris. Tehniliste raskuste tõttu toote arendamisel jäi see seade aga ainult prototüübi faasi.

1995. aastal tuli välja 3D mängukonsool *Nintendo Virtual Boy*. Selle puhul kõneldi kui esimesest kaasaskantavast konsoolist, mis oli võimeline kuvama tõelisi 3D kuvandeid. Esimene väljalase oli aga läbikukkumine ning selle põhjusteks olid värvide puudulikkus graafikas, tarkvara toetamise puudulikkus ning konsooli ebamugav kasutamine.

1999. aastal linastus film *The Matrix*. Filmis olid karakterid, kes elasid täielikult simuleeritud maailmas. Filmil oli suur kultuurne mõju ning see muutis simuleeritud reaalsuse teema aktuaalseks.

21. sajandil on virtuaalreaalsuses toimunud suured arengud. Arvutitehnoloogiad, eriti väikesed ja võimsad mobiilseadmed, on teinud plahvatusliku arengu, viies hindu pidevalt alla. Kõrge resolutsiooniga ekraanide ja 3D graafika võimekusega nutitelefonide tõus on võimaldanud areneda lihtsatel ja praktilistel VR seadmetel. Edasine areng selles valdkonnas on toimunud suuresti tänu videomängude tööstusele.

1.3. Kasutamine ehitusvaldkonnas

Ehitusinformatsiooni modelleerimine ja juhtimine (edaspidi: BIM) on olnud juba aastaid üks põhilisemaid ehitusvaldkonna arengusuundasid. BIM on ehitusinformatsiooni mudel ehk tark mudel ehitisest, mis koosneb BIM elementidest, milles on olemas ehitise, ehituse ja korrashoiuks vajalik informatsioon. [10]

BIMi kasutamine annab ehitise elutsükli vältel võimaluse osaleda protsessis kõikidel osapooltel – arhitektil, konstruktoril, eriosade projekteerijal, arendajal, ehitajal, omanikul, kasutajal ja haldajal. Kõigil neil on võimalus integreerida ühte mudelisse enda jaoks vajalik informatsioon ning kontrollida olemasolevat teavet. [11]

Mudelprojekteerimise kasutamine pakub uusi ja paremaid võimalusi alternatiivsete projektlahenduste võrdlemiseks ja omavaheliseks koordineerimiseks. Olgu siinkohal toodud välja mõned tähtsamad virtuaalreaalsuse kasutamise seotud aspektid:

- Virtuaalreaalsuse ja modelleerimise kasutamine ehituses aitab vältida vigu, mis võivad välja tulla alles ehitamise käigus või lõpus. Virtuaalkeskkonnas avastatud probleemide ennetav lahendamine on oluliselt odavam ja vähem ajamahukam.
- Virtuaalreaalsuse kasutamine annab võimaluse näha ja mõista projekti kõikidel osapooltel ühtmoodi. Tänu keskkonna sügavuse ja ruumilisuse tunnetamisele tekib ehitisest suhteliselt tõetruu ettekujutus ning tänu õigele mastaabile ka realistlik ruumitunnetus. Eriti tähtis on see neile, kes ei ole ehitusala spetsialistid (sageli on selleks tellija või ehitise hilisem kasutaja).
- Ühe mudeli samaaegne vaatlemine mitme kasutaja poolt võimaldab kõikidel osapooltel korraga tulemust analüüsida. Virtuaalreaalsuse peakomplekti olemasolul ei pea koosolekutel osalejad viibima samas ruumis. Teineteisega on mudelis võimalik suhelda näiteks häälte abil, jätta video- või audiosõnumeid, markeerida probleemseid kohti või kirjutada kommentaare.
- Erinevate simulatsioonide (näiteks hinnata päikese liikumist ja tunnetada selle tagajärgi) läbiviimine tundub kasutajale realistlik ja vahetu, kuna paiknetakse niiõelda mudelis sees.
- Ehitajal on võimalik keeruliste sõlmede ja konstruktsioonidega eelnevalt põhjalikult tutvuda, saades niimoodi väga hea ettekujutuse lõpptulemusest.

2. VIRTUAALREAALSUSE RIISTVARA

VR kuvamiseks on välja töötatud mitmeid seadmeid, millest osad ei ole erinevatel põhjustel antud töös aktuaalsed. Paljud VR prillid ei ole oma tagasihoidlike tehniliste näitajate tõttu professionaalse töövahendina rakendatavad ning seetõttu ei ole käesolevas töös neid üldse vaadeldud. Teine põhjus, miks antud töös mitmeid VR prille ei vaadelda, on nende piiratud kättesaadavus. Põhiliselt on tegu seadmetega, mis on arenduse lõppfaasis või iga hetk vabamüüki jõudmas ning mida antud töö raames soetada ei olnud võimalik.

Tabelis 2 on antud ülevaade nendest seadmetest, mida võiks potentsiaalselt ehitussektoris kasutada. Käesolevas uuringus on testitavateks seadmeteks valitud HTC Vive, Oculus Rift ja Acer Windows Mixed Reality Headset. Neist kaks esimest on senise kasutuskogemuse ja ülevaadete põhjal osutunud ehitussektoris sobivaimateks ning Acer oli ainus kättesaadav peakomplekt Windows Mixed Reality seeriast. Ühtlasi on nende prillide kasutamisega võimalik välja selgitada OLED ja LCD pildikvaliteedi erinevust ning katsetada, kuidas toimuvad erinevad kasutaja asukoha jälgimisviisid. Ülejäänud seadmeid käesolevas töös ei kasutata, kuna nad ei ole veel kättesaadavad (näiteks LG VR peakomplekt, HTC Vive Pro, Pimax 8K) või nende tehnilised näitajad ei ole piisavad (näiteks Pimax 4K värskendussagedus on liiga madal).

Üldjuhul on VR prillid ühendatud arvutiga kaabli abil, kuid osadele peakomplektidele on välja töötatud ka juhtmevabad ühendused. Need küll oluliselt suurendavad liikumisvabadust, kuid nende esmane seadistamine on suhteliselt aeganõudev (näiteks kaabelduse ühendamine, arvuti ja prillide vahelise ühenduse loomine jne) ning komplekt vajab akude laadimist. Samuti on täheldatud, et kuigi akud peavad vastu suurusjärgus 4 tundi, siis kasutamise käigus võib aku minna niivõrd kuumaks, et segab kasutamist. Lisaks on juhtmevaba peakomplekti toimimiseks vaja luua juhtmevaba internetiühendus, mille kehva kvaliteedi korral valmistab VR prillide kasutamine probleeme (nt pildi hüplemine, hangumine jne). Juhul, kui süsteem toimib hästi, ei esine erinevusi juhtmevaba ja juhtmega lahenduse vahel. Käesolevas uuringus kasutati TPCAST juhtmevaba ühendust HTC Vive peakomplektiga (**foto 13**).



Foto 13. TPCAST juhtmevaba ühendus HTC Vive peakomplektile [12]

Kasutaja asukoha määramiseks virtuaalkeskonnas kasutatakse erinevaid jälgimise meetodeid. Eristatakse süsteeme, kus keskkond jälgib prille ehk *outside-in* (nt HTC Vive) või kus prillid jälgivad keskkonda ehk *inside-out* (Windows Mixed Reality). Esimesel juhul on vaja eraldiseisvaid andureid (nt

HTC Vive baasjaamad), mis jälgivad peakomplekti ja juhtpulte. Teisel juhul on VR prillidel sisseehitatud kaamerad, mis jälgivad juhtpultide asukohti ja asendit.

Kõik süsteemid, kus keskkond jälgib VR prille, vajavad kasutamise piirkonna määramist (*roomscale*). Selle toiminguga käigus fikseeritakse ruumi piirkond, kus VR prillid on kasutatavad (**joonis 2**) – eesmärgiks on tagada kasutaja ohutus. Seejuures on tähtis, et määratav piirkond jääks tootjapoolse soovitusliku ala piiridesse, sõltudes baasjaamade tüübist ja asukohast. VR prille on võimalik kasutada ka ilma *roomscale*'ita, kuid sellisel juhul puudub kasutajal ruumis liikumise võimalus (*standing* või *seated*). Käesoleva uuringu raames kasutasid *roomscale*'i HTC Vive ja Windows Mixed Reality Acer peakomplektid ning *standing mode*'i Oculus Rift.



Joonis 2. Roomscales põhimõte [13]

On oluline märkida, et VR prillid võimaldavad üldjuhul kasutada ka optilisi prille, mida inimesed igapäevaselt kasutavad. Siinkohal on ainsaks piiranguks optiliste prillide mahtumine VR peakomplekti sisse ning tootjad soovivad sellistel juhtudel kasutada pigem läätseid või kasutada spetsiaalset polsterdust. Testimisel kasutatud VR prillidest oli selle kriteeriumi järgi kõige mugavam kasutada HTC Vive'i.

VR kuvamisel on väga tähtsad kasutatava arvuti parameetrid ja seetõttu on need nõuded iga vastava peatüki juures välja toodud. Käesolevas uuringus kasutati arvuteid (**tabel 1**), mis ületavad tarkvaratootjate poolt esitatud nõudeid.

Tabel 1. Uuringus kasutatud arvutite spetsifikatsioonid

Näitaja	Arvuti 1	Arvuti 2
Graafikakaart	NVIDIA GeForce GTX 1080	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti
Protsessor	Intel Core i7-6700K 4.0 GHz	Intel Core i7-8700K 3.7 GHz
Mälu	16 GB	16 GB
Video väljastamine	HDMI DisplayPort DVI-D	HDMI DisplayPort DVI-D
USB pesad	USB 3.0, USB 2.0	USB 3.0, USB 2.0
Operatsioonisüsteem	Windows 10 Pro	Windows 10 Pro

Tabel 2. VR prillide spetsifikatsioon

	HTC Vive	Oculus Rift	HTC Vive Pro	Pimax 4K	Pimax 8K	Samsung Odyssey	Lenovo Explorer	Dell Visor	HP headset	Acer headset
Resolutsioon	2160×1200 (1080×1200 silma kohta)	2160×1200 (1080×1200 silma kohta)	2880×1600 (1440×1600 silma kohta)	1920×2160	7680×2160 (3840×2160 silma kohta)	2880×1600 (1440×1600 silma kohta)	2880×1440 (1440×1440 silma kohta)	2880×1440 (1440×1440 silma kohta)	2880×1440 (1440×1440 silma kohta)	2880×1440 (1440×1440 silma kohta)
Värskendussagedus	90 Hz	90 Hz	90 Hz	60 Hz	80 Hz	90 Hz	90 Hz	90 Hz	90 Hz	90 Hz
Ekraani tüüp	PenTile OLED	PenTile OLED	AMOLED	LCD	CLPL	AMOLED	LCD	LCD	LCD	LCD
Vaateväli	110°	110°	110°	~110°	~200°	~110°	~105°	~105°	~105°	~105°
Kasutaja asukoha jälgimisviis	Vive baasjaamad	Oculuse sensorid	Vive baasjaamad	Puudub	Vive baasjaamad või pultide jälgimine prillide kaameraga	Pultide jälgimine prillide kaameraga	Pultide jälgimine prillide kaameraga	Pultide jälgimine prillide kaameraga	Pultide jälgimine prillide kaameraga	Pultide jälgimine prillide kaameraga
Ruumipõhine jälgimine (room scale)	Jah	Jah, aga vajab kolmandat andurit	Jah	Ei	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah
Kaal	468 g (esimene versioon 555 g)	470 g	Pole teada	320 g	~450 g	644 g	380 g	590 g	834 g	350 g
Integreeritud kõrvaklapid	Ainult valikuliste Deluxe Audio Strap lisadega	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Ei	Ei	Ei	Ei
Sisesehitatud mikrofon	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Ei	Ei	Ei	Ei
Väline kaamera	Jah	Ei	Jah, 2 tk	Ei	Ei	Jah, 2 tk	Jah, 2 tk	Jah, 2 tk	Jah, 2 tk	Jah, 2 tk
Juhtpuldid	Vive juhtpuldid	Xbox One, Oculus ja Oculus Touch juhtpuldid	Vive juhtpuldid	Vive ja Pimax juhtpuldid	Vive ja Pimax juhtpuldid	Microsofti juhtpuldid	Microsofti juhtpuldid	Microsofti juhtpuldid	Microsofti juhtpuldid	Microsofti juhtpuldid
Platvorm	SteamVR, HTC VivePort	Oculus Store, SteamVR	SteamVR, HTC Viveport	SteamVR, Oculus Store, VRShow	Steam VR	Windows Store, SteamVR	Windows Store, SteamVR	Windows Store, SteamVR	Windows Store, SteamVR	Windows Store, SteamVR
Väljalaskeaeg	Aprill 2016	Märts 2016	Aprill 2018	Aprill 2016	Suvi 2018	November 2017	Oktoober 2017	Oktoober 2017	Oktoober 2017	Oktoober 2017
Hind Eestis	629 € (komplekt)	583 € (komplekt)	899 € (ainult prillid)	Pole saadaval	Pole saadaval	Pole saadaval	Pole saadaval	659 € (komplekt)	Pole saadaval	433 € (komplekt)

2.1. HTC Vive

HTC Vive (foto 14) on virtuaalreaalsuse peakomplekt, mis kasutab ruumipõhist kasutaja jälgimise tehnoloogiat (*roomscale*). See on arendatud HTC ja Valve Corporationi poolt ning infot leiab tootja kodulehelt ([link](#)). HTC Vive'i kasutamiseks on vaja arvutisse paigaldada Steam platvorm ([link](#)), VR kasutamiseks eraldiseisev Steam VR platvorm ([link](#)) ning VR prillide seadistamiseks Vive Setup ([link](#)).

VR kogemiseks on vaja prille, juhtpulte ja majakaid. HTC Vive prillidel (foto 15) on mitmes suunas reguleeritavad rihmad, mis teeb need väga mugavaks. Samas ei ole need juhtmevabad, mis tähendab, et kasutaja peab jälgima, et ta juhtmesse ei takerduks. Kasutaja asukohta jälgitakse eraldiseivate ning juhtmevaba ühendusega baasjaamadega (foto 16), mida on võimalik paigutada nii, et kasutatav pind on maksimaalselt 3 m × 4 m suurune (majakaid saab juhtmevaba ühenduse korral paigutada üksteisest maksimaalselt 5 m kaugusele). Virtuaalkeskkonnas navigeerimiseks kasutatakse juhtpulte (foto 17), mis on suhteliselt käepärased.

Kuna VR peakomplektid on suhteliselt nõudlikud arvuti tehniliste näitajate suhtes, siis on tootja kodulehel toodud võimalus katsetada oma arvuti sobivust ([link](#)). Soovituslikud tehnilised nõuded arvutile on järgmised:

- graafikakaart – NVIDIA GeForce GTX 1060, AMD Radeon RX 480, samaväärne või parem;
- protsessor – Intel Core i5-4590 või AMD FX 8350, samaväärne või parem;
- muutmälu – 4 GB RAM või rohkem;
- videoväljund – HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 või uuem;
- USB pesad – üks USB 2.0 või parem pesa;
- operatsioonisüsteem – Windows 7 SP1, Windows 8.1 või hilisem, Windows 10.



Foto 14. HTC Vive peakomplekt [14]



Foto 15. HTC Vive prillid [14]



Foto 16. HTC Vive baasjaamad [14]



Foto 17. HTC Vive juhtpuldid [14]

2.2. HTC Vive Pro

HTC Vive Pro (foto 18) on HTC Vive peakomplekti edasiarendus, mis kasutab eelmise versiooniga sama tehnoloogiat. Infot leiab tootja kodulehelt ([link](#)).

HTC Vive Pro erineb HTC Vive'st peamiselt selle poolest, et omab kahte kaamerat, ekraanil on suurem resolutsioon ning kasutatakse AMOLED ekraanitüüpi. Lisaks on parendatud ergonomikat, lisatud sisseehitatud kõrvaklapid ning rullikuga kiirreguleeritav rihm. Samuti on HTC Vive Pro väljatulekuga arendatud edasi ka baasjaamasid – SteamVR Base Station 2.0 võimaldab kasutajal liikuda suuremal alal ning jälgimine on parema täpsusega. Arvutiga juhtmevaba ühenduse loomiseks on arendamisel lisaadapter (foto 19), mis kinnitatakse prillide külge.



Foto 18. HTC Vive Pro peakomplekt [15]



Foto 19. HTC Vive Pro juhtmevaba adapter, mis kinnitatakse prillide külge [15]

2.3. Oculus Rift

Oculus Rift on virtuaalreaalsuse peakomplekt ([foto 20](#)), mis kasutab väliseid andureid kasutaja asukoha jälgimiseks. See on Oculus VR arendatud ja toodetud seade, mille kohta leiab infot tootja kodulehelt ([link](#)). Oculus Rifti kasutamiseks on vaja tarkvara Oculus Runtime ([link](#)), kuid mõne visualiseerimistarkvara puhul võib vaja minna ka Steam ([link](#)) ning Steam VR platvorme ([link](#)).

Oculus Rift komplekti kuuluvad prillid, juhtpuldid ning andurid. Prillid ([foto 21](#)) on suhteliselt mugavad ning lihtsalt reguleeritavad. Neil on sisseehitatud kõrvaklapid, mida on mugav kasutada kui neid vaja on, kuid jäävad pigem ette, kui vajadust pole. Kasutaja asukoha määramiseks kasutatakse andureid ([foto 20](#)), mida on esialgses komplektis 2 tk, st *roomscale* funktsiooni kasutada ei saa. Kuid andureid saab osta juurde ka ühekaupa ning kolmanda anduri lisamisega on võimalik ka Oculus Rifti kasutada *roomscale* funktsiooniga. Komplekti juhtpuldid Oculus Touch ([foto 22](#)) on uuringu koostajate arvates proovitud komplektidest kõige ergonomilisemad ja mugavamad.

Ka Oculususe puhul on võimalik tootja kodulehelt alla laadida programm, mis kontrollib arvuti sobivust VR prillide kasutamiseks ([link](#)). Arvutile on esitatud järgmised soovituslikud nõuded:

- graafikakaart – NVIDIA GTX 1060/AMD Radeon RX 480 või parem;
- alternatiivne graafikakaart – NVIDIA GTX 970/AMD Radeon R9 290 või parem;
- protsessor – Intel i5-4590/AMD Ryzen 5 1500X või parem;
- muutmälu – 8 GB+ RAM;
- videoväljund – ühilduv HDMI 1.3;
- USB pesad – 3×USB 3.0 ja lisaks 1×USB 2.0;
- operatsioonisüsteem – Windows 7 SP1 64-bit või uuem.



Foto 20. Oculus Rift peakomplekt [[16](#)]



Foto 21. Oculus Rift prillid [[16](#)]



Foto 22. Oculus Rift puldid Oculus Touch [[16](#)]

2.4. Pimax 4K

Pimax 4K (foto 23) on Hiina tehnoloogiaettevõtte Pimax VR seade, mille kohta leiab infot tootja kodulehelt (link).

Pimax 4K VR prillidel on mõlema silma jaoks 2K ekraan, mis tähendab, et tootenimetus on veidi eksitav. Lisaks on nende suurimaks miinuseks asjaolu, et neid saab kasutada vaid ühe koha peal, sest neil ei ole kasutaja asukoha jälgimissüsteemi. Komplektis ei ole neil ka juhtpulte, kuid võimalus on need juurde osta kolmandalt osapoolelt. Lisavarustusena on neil peakomplekti külge ühendatavad spetsiaalsed kõrvaklapid.



Foto 23. Pimax 4K VR prillid [17]

2.5. Pimax 8K

Pimax 8K (foto 24) on Pimaxi kõige uuem toode, mis ei ole tavakasutajale veel saadaval. Infot leiab lisaks tootja kodulehele (link) ka rahastusplatvormilt Kickstarter (link).

Pimax 8K-l on kõikidest VR prillidest kõige laiem vaateväli – kui inimese vaateväli on u. 210°, siis 8K-l on see väidetavalt u. 200°. Ühtlasi peaks ekraani kvaliteet tagama selle, et pikslitevahelisi jooni pole näha ning pilt on selle tõttu selgem. Kasutaja asukoha jälgimise poolest töötab Pimax 8K nii baasjaamade kui ka prillide enda kaamerate kaudu. Lisaks arendatakse sellele juurde erinevaid mooduleid nagu nt juhtmevaba ühenduse (foto 25) ning lõhnataju moodulit (foto 26).



Foto 24. Pimax 8K peakomplekt – andurid, puldid ja prillid [18]



Foto 25. Pimax 8K juhtmevaba ühenduse moodul [18]



Foto 26. Pimax 8K lõhnataju moodul [18]

2.6. Windows Mixed Reality prillid

Windows Mixed Reality tootenimetuse alla on koondatud kuue tootja VR prillid (foto 27), täpsemat infot leiab kodulehelt ([link](#)). Tootegrupi nimetus „Windows Mixed Reality“ tuleneb sellest, et Microsofti visiooni kohaselt sulanduvad virtuaal- ja liitreaalsus lõpuks ühte. Siiski ei paku praegused Windows Mixed Reality peakomplektid liitreaalsuse võimalusi, kuid tulevikus on mõeldud need ka selle jaoks. Windows Mixed Reality VR prillide kasutamiseks on vaja paigaldada Steam platvorm ([link](#)), VR kasutamiseks omakorda Steam VR platvorm ([link](#)), seejärel veel Windows Mixed Reality for SteamVR ([link](#)) ning VR prillide seadistamiseks Mixed Reality Portal ([link](#)), kusjuures viimane töötab vaid operatsioonisüsteemiga Windows 10.

Windows Mixed Reality VR prillide kasutamiseks on vaja vaid sobivat arvutit, VR prille ning juhtpult. Olemasoleva arvuti tehnilistele nõuetele vastavust saab kontrollida tootja kodulehel ([link](#)) ning kui sobivat arvutit pole, siis on olemas ka selleks otstarbeks väljatöötatud komplektid. Arvutite tehnilised nõuded on toodud tabelis 3. VR prille on kokku 6: Samsung HMD Odyssey, Acer Headset, Dell Visor, HP Headset, Lenovo Explorer ja Asus Headset ning igal neist on komplektis ka juhtpuldid ([link](#)). Kasutaja asukoha ja liikumise jälgimine toimub läbi prillides olevate kaamerate, mis jälgivad juhtpultide liikumist, st eraldi andureid pole vaja (Microsoft Hololensi jaoks välja töötatud jälgimistarkvara).



Foto 27. Windows Mixed Reality VR prillid [19]

Käesolevas uuringus kasutati Acer Headset peakomplekti. Võrreldes teiste uuringus kasutatud peakomplektidega oli toote koostekvaliteet ja kasutusmugavus mõnevõrra halvem. Suurimateks probleemideks osutusid prillide ebamugav peakinnitus (eelkõige väiksema pea korral), ekraani nihkumine silmade eest ja juhtpultide värelemine VR vaates. Lisaks sellele tundus kasutajatele, et reaalsuses läbitud vahemaa oli suurem kui VR keskkonnas kajastus. Probleeme esines ka juhtpultidega, mis peale automaatset väljalülitumist vajasis enamasti *bluetooth* adapteriga uuesti ühendamist (ühenduse toimimisaja pikendamiseks on soovitatav keelata *bluetooth* adapteri ja USB-pesa unerežiim). LCD ekraani värvid tundusid võrreldes teiste prillide OLED ekraanidega märgatavalt tuhmimad ja tumedamad.

Tabel 3. Tehnilised nõuded arvutile [20]

Nõue	Soovituslik (Windows Mixed Reality Ultra)	Minimaalne (Windows Mixed Reality)
Oodatav peakomplekti värskendussagedus	90 Hz	60 Hz
Graafikakaart	<ul style="list-style-type: none"> NVIDIA GTX 1060 või teine alternatiivne, mis toetab DX12 versiooni; AMD RX 470/570 või teine alternatiivne, mis toetab DX12 versiooni. 	<ul style="list-style-type: none"> Integreeritud Intel HD graafika 620 või teine alternatiivne, mis toetab DX12 versiooni; NVIDIA MX150; 965M või teine alternatiivne, mis toetab DX12 versiooni; AMD Radeon RX 460/560.
Protsessor	<ul style="list-style-type: none"> Intel Core i5 4590 (4. põlvkond); Neljatuumaline (või parem) AMD Ryzen 5 1400 3.4 GHz (töölaud). 	<ul style="list-style-type: none"> Intel Core i5 7200U (7. generatsiooni mobiilne); Dual-core koos Intel Hyper-Threading Technology võimalusega (või parem).
Muutmälu (RAM)	8 GB DDR3	8 GB DDR3 kahe kanaliga (või parem)
Videoväljund	HDMI 2.0 või DisplayPort 1.2	HDMI 1.4 või DisplayPort 1.2
USB	USB 3.0 Type-A või Type-C	
Vaba mälu	vähemalt 10 GB	
Bluetooth ühildatavus	Bluetooth 4.0	
Operatsioonisüsteem	Windows 10 Home, Pro, Business ja Education versioonid	

3. MUDELID

3.1. Kasutatud projekterimistarkvarad

Käesolevas uuringus on vaadeldud tarkvarasid Autodesk Revit 2018 (edaspidi Revit), Graphisoft ARCHICAD 21 (edaspidi ARCHICAD) ja Trimble SketchUp Pro 2018 (edaspidi SketchUp). Neist kaks esimest on meie regioonis laialt kasutatavad parameetrilised modelleerimistarkvarad. Viimane on eelkõige valitud põhjusel, et seda toetavad peaaegu kõik visualiseerimistarkvarad.

Revit ([link](#)) on Autodesk Inc. Toode ning selle puhul on tegemist täislahendusega, mis hõlmab nii arhitektuuri, konstruktsioonide, tehnosüsteemide kui ka ehituses vajaminevaid funktsioone ja lahendusi. Luuakse võimalus hallata kogu projektinformatsiooni, koordineeritud tegevusi ja mudelipõhiseid lahendusi.

ARCHICAD ([link](#)) on arhitektuurne BIM tarkvara, mille loojaks on Ungari firma Graphisoft. ARCHICADi tunnustatakse kui esimest CAD-i toodet personaalarvutile, mis on võimeline looma nii 2D kui ka 3D geomeetriaid, samuti ka kui esimest BIM toodet personaalarvutitele. ARCHICAD on võimeline hoidma 3D mudelis suurtes kogustes informatsiooni.

Trimble SketchUp ([link](#)), endise nimega Google SketchUp, on mõeldud suurele hulgal joonestamise rakendusalaadele nagu arhitektuur, sisekujundus, maastikuarhitektuur, ehitus ning filmide ja videomängude disain. SketchUp on saadaval veebipõhise rakendusena SketchUp Free, vabavaralise versioonina SketchUp Make ja tasulise versioonina SketchUp Pro. Rohkem infot SketchUp Pro ja SketchUp Make erinevuste kohta on võimalik saada tootja kodulehelt ([link](#)).

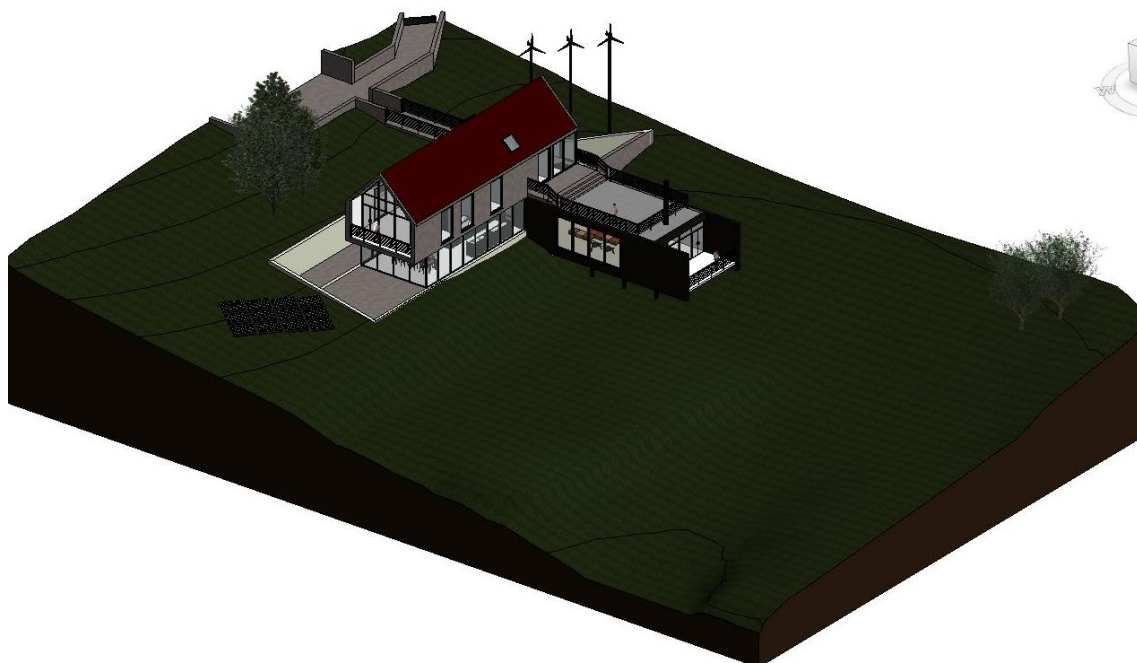
3.2. Reviti näidismaja

Reviti eramu on näidismudel, mis on olnud Reviti kasutusvõimaluste näidiseks kõikidel viimastel Reviti versioonidel. Tegu on levinud ja tuntud mudeliga, mis on vaikimisi kaasas Reviti tarkvaraga ning mida saab alla laadida Autodeski kodulehelt ([link](#)).

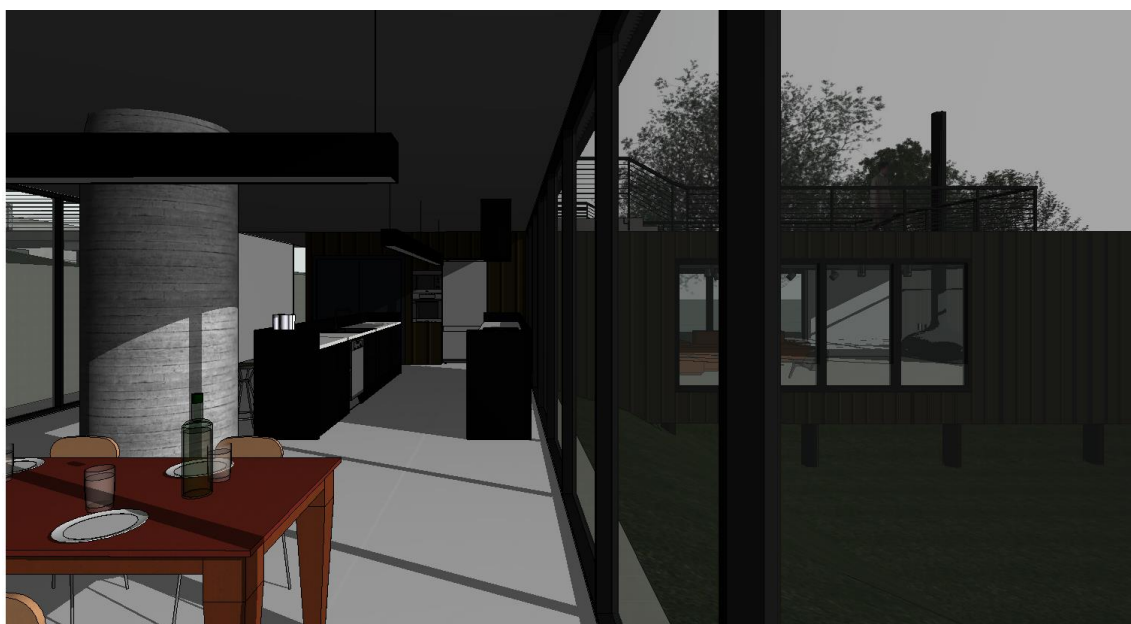
Näidismaja koosneb ühest Reviti formaadis mudelist, mis sisaldab hoone arhitektuuri (sh sisearhitektuuri) ja maastikku ([joonised 3 ja 4](#)). Visuaalsest küljest on määratud elementide materjal ja värv ning osade elementide puhul ka nende tekstuur (näiteks välisseinad). Sisearhitektuuri osas on hoone sisustatud mööbliga (nt laudad, toolid, köögiseadmed) ning sinna on lisatud ka inimesed. Maapinnale on määratud muru kujutav tekstuur. Lisaks paikneb krundil kolm puud, auto, tuulegeneraatorid ja päikesepaneelid. Mudeli ülesehitus on tehtud vastavalt Reviti elementide perekondadele (*Family*), mis annab võimaluse visualiseerimistarkvaras testida kihtidega manipuleerimise võimalusi. Tegu on andmemahult lihtsa hoonega, kuid mis on piisavalt detailne, et olla visuaaliseeristarkvarade katsetamise esmaseks mudeliks. Hoone mudeli andmemahut ja elementide ning kolmnurkade arv on toodud [tabelis 4](#) (saadud 3ds Max'i viidud mudelist).

Tabel 4. Reviti näidismaja mudeli mahud ja polügoonide arvud

Osamudeli nimi	Maht (MB)	Kolmnurksete polügoonide arv (tk)	Elementide arv (tk)	Polügoonide arv elemendi kohta (tk)
Arhitektuur	17	432 000	496	871



Joonis 3. Vaade Reviti näidismajale programmis Revit



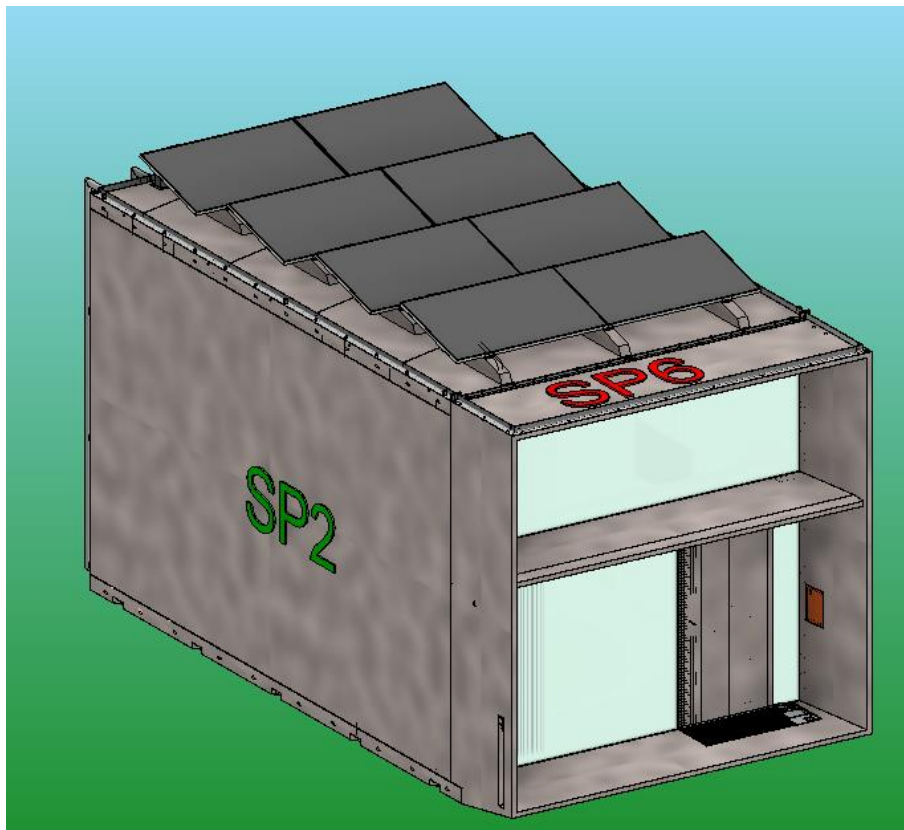
Joonis 4. Reviti näidismaja sisevaade programmis Revit

3.3. KODA moodulmaja

KODA on PLN OÜ poolt projekteeritud moodulmaja (joonised 5 ja 6), mille kõik osamudelid on projekteeritud tarkvaras Revit, mis seetõttu lihtsustab visualiseerimist. Kaheksast osamudelid kolm on arhitektuursed, neli on tehnosüsteemide ja üks konstruktsiooni osamudel. Arhitektuursed osamudelid sisaldavad lisaks materjalide värvidele ka tekstuure. Erinevate osamudelite elemendid on modelleeritud neile omaste perekondadega. KODA mudeli testimise eesmärgiks on saada teada, kuidas toimib reaalse mudelprojekteerimise protsessi käigus valminud väikesemahulise hoone visualiseerimine virtuaalreaalsuses. Osamudelite polügonide ja elementide arvud on saadud 3ds Max'i viidud mudelist ning toodud tabelis 5.

Tabel 5. KODA mudeli mahud ja polügonide arvud

Osamudeli nimi	Maht (MB)	Kolmnurksete polügonide arv (tk)	Elementide arv (tk)	Polügonide arv elemendi kohta (tk)
Arhitektuurne	60	58 000	125	464
Elekter	59	52 000	80	650
Küte ja ventilatsioon	63	30 000	60	500
Sisearhitektuur	105	183 000	63	2 905
Vesi ja kanalisatsioon	80	97 000	102	951
Päikesepaneelid	114	42 000	183	230
Konstruktsioon	142	1 607 000	1 306	1 230
Sisearhitektuur 2	107	106 000	51	2 078
Osamudelid kokku	730	2 175 000	1 970	1 104



Joonis 5. Vaade KODA moodulmajale programmis Revit



Joonis 6. KODA moodulmaja sisevaade programmis Revit

3.4. Viimsi riigigümnaasium

Uuringus kasutatav Viimsi Riigigümnaasiumi (edaspidi VRG) suuremahuline BIM mudel (joonised 7 ja 8) koosneb 12 detailsest osamudelist. Katsetatava mudeli eripäraks on tema märgatavalt suurem maht võrreldes eelpool mainitud mudelitega ning kasutatavad osamudelite formaadid. Arhitektuursed osamudelid on projekteeritud tarkvaras Graphisoft ARCHICAD (formaadis .pln) ning teised osamudelid (hoone konstruktsioon ja tehnosüsteemid) on salvestatud erinevatest projekteerimistarkvaradest .ifc formaati. Viimsi Riigigümnaasiumi mudeli katsetamise eesmärgiks on leida viis, kuidas viia eri formaatides mudelid visualiseerimistarkvarasse ning selgitada välja, kas arhitektuurse osamudeli formaadi ümbersalvestamise tõttu jäävad elementide omadused (nt tekstuurid, värvid) alles. Osamudelite polügoonide ja elementide arvud on saadud ARCHICAD liideselt Polycount ning on toodud tabelis 6.

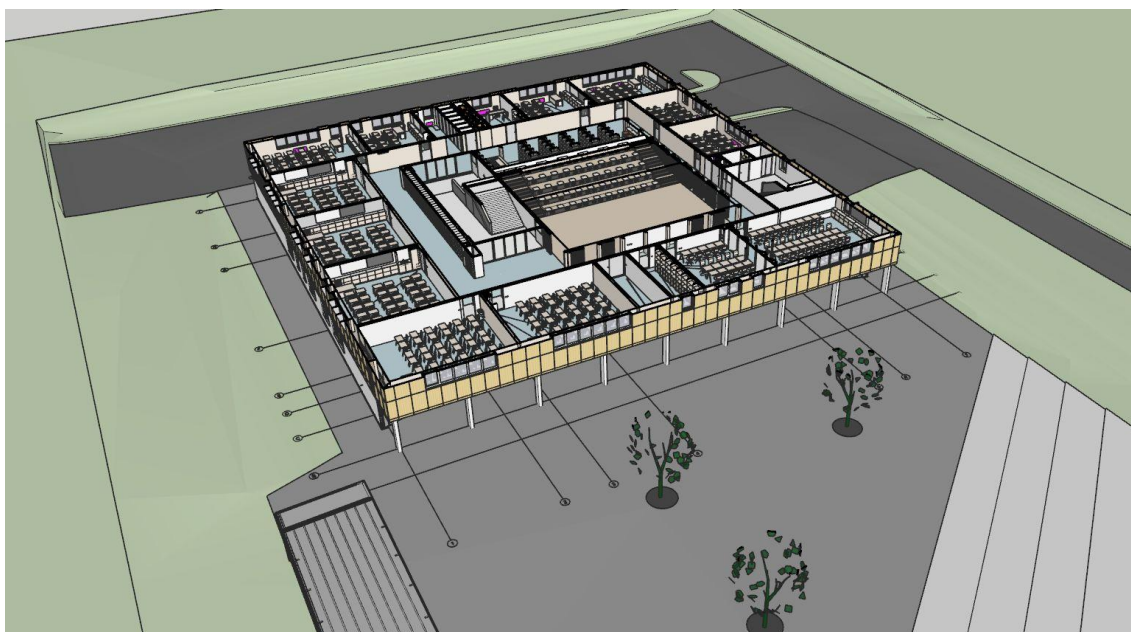
Tabel 6. Viimsi Riigigümnaasiumi mudeli mahud ja polügoonide arvud

Osamudeli nimi	Osamudeli formaat	Maht (MB)	Kolmnurksete polügoonide arv (tk)	Elementide arv (tk)	Polügoonide arv elemendi kohta (tk)
Arhitektuur	.pln	241	347 000	15 992	22
Arhitektuur 2	.pln	79	290 000	178	1 629
Konstruktsioonid ¹⁾	.ifc	94	491 000	4 149	118
Nõrkvool	.ifc	2	20 000	69	290
Tugevool	.ifc	4	29 000	220	132
Valgustid	.ifc	6	80 000	1 104	72
Küte	.ifc	25	256 000	5 063	51
Ventilatsioon	.ifc	19	168 000	3 825	44
Sisearhitektuur	.pln	87	1 058 000	6 002	176
Sprinkler	.ifc	12	789 000	2 882	274
Vesi ja kanalisatsioon	.ifc	181	1 984 000	6 498	305
Asendiplaan	.ifc	7	23 000	111	207
Osamudelid kokku		757	5 535 000	46 093	120

Märkused:
1) Konstruktsiooniosa mudel lülitati testimisel välja, kuna sellel oli teiste osamudelitega kattuvaid pindu, mis tekitasid plinkimist.



Joonis 7. Vaade Viimsi Riigigümnaasiumi mudelile tarkvaras SketchUp



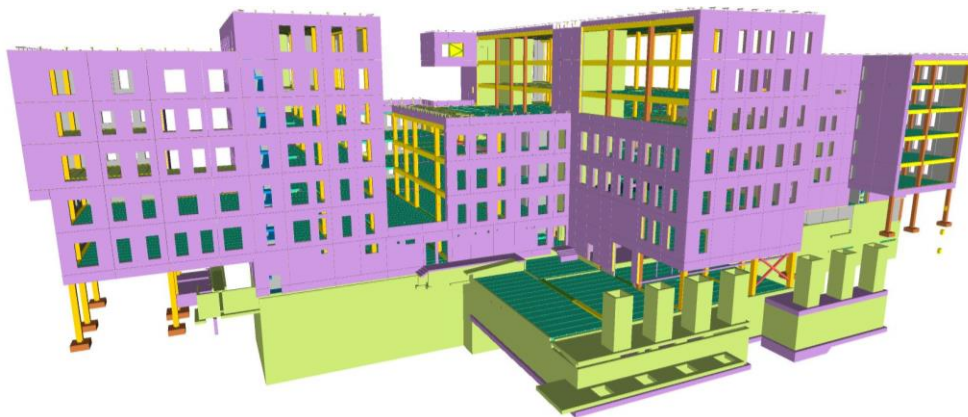
Joonis 8. Viimsi Riigigümnaasiumi mudeli lõige tarkvaras SketchUp

3.5. Kohtumaja

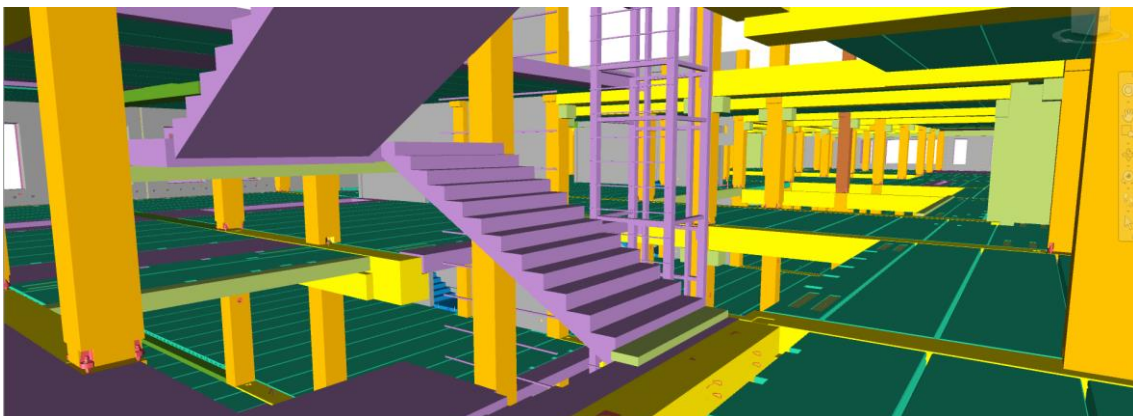
Kohtumaja mudel on tööprojekti staadiumis valmistatud .ifc formaadis konstruktsioonimudel (joonised 9 ja 10), mis on katsetatavatest mudelitest mahult ja elementide arvult kõige suurem. Selle mudeli katsetamise eesmärgiks on näha, kuidas saavad visualiseerimistarkvarad hakkama nii suure mudeli töötlemise ja visualiseerimisega ning milline on sellise mudeli kasutuskogemus. Selle mudeli puhul hinnatakse konstruktiivsete elementide kuvamist ning kontrollitakse, kas VR tarkvara on kvanud kõik elemendid. Mudelimahud ja polügoonide arvud on toodud tabelis 7.

Tabel 7. Kohtumaja mudeli mahud ja polügoonide arvud

Tarkvara	Maht (MB)	Kolmnurksete polügoonide arv (tk)	Elementide arv (tk)	Polügoonide arv elemendi kohta (tk)
.ifc fail avatuna ARCHICADis	398	5 200 000	125 868	41
.ifc fail viidud Revitisse, salvestatud .fbx formaati ning avatud 3DS MAXis	1 780	34 000 000	290 660	117



Joonis 9. Vaade Kohtumaja konstruktiivsele mudelile tarkvaras Navisworks Manager 2017



Joonis 10. Vaade Kohtumaja konstruktiivsele mudelile tarkvaras Navisworks Manager 2017

4. VIRTUAALREAALSUSE TARKVARAD

Projekteerimistarkvaras koostatud mudeli vaatlemiseks VR prillides on vaja kasutada visualiseerimistarkvara ning nende koosluses on võimalik tekitada suhteliselt realistlik kohalolekutunne. Visualiseerimistarkvara töötleb projekteerimistarkvaras koostatud mudeli VR keskkonna visualiseeringu jaoks sobivaks. Seejuures võib sõltuvalt mudeli ülekandmise meetodist (kasutatud tarkvarast, formaadist jne) esineda olulisi pinnatekstuuride, värvitoonide ja harvem ka geomeetriliste parameetrite muutusi.

Erinevad visualiseerimistarkvarade tootjad on kas välja arendanud eraldi tarkvara ja/või liidese olemasoleva projekteerimistarkvara juurde. Sellest sõltub oluliselt mudeli projekteerimistarkvarast visualiseerimistarkvarasse viimise mugavus ja kiirus ning visualiseeringu funktsionaalsus.

Visualiseerimistarkvarade arv on suhteliselt suur ja käesolevas töös on põhjalikumalt neist vaadeldud viite (tabel 8):

- IrisVR Prospect 2.1.1 (edaspidi IrisVR Prospect);
- VRcollab 0.9.2 (edaspidi VRcollab);
- Enscape 2.2.3 (edaspidi Enscape);
- Autodesk Revit Live 2.1.781 (edaspidi Revit Live);
- Fuzor 2018 4.0 (edaspidi Fuzor).

Põgusalt (vaid funktsionaalsuse aspektist) on vaadeldud ka selliseid tarkvarasid nagu Twinmotion 2018, SYMMETRY Alpha 1.6 ja InsiteVR 01.06.2018 (kajastatud samuti tabelis 8).

Tabel 8. Visualiseerimistarkvarade ülevaade

	IrisVR Prospect 2.1.1	VRcollab 0.9.2	Enscape 2.2.3	Autodesk Revit Live 2.1.781	Fuzor 2018 4.0	Twinmotion 2018	SYMMETRY alpha 1.6	InsiteVR 01.06.2018
Toetatavad failiformaadid ¹²⁾								
.rvt (Revit)	liides	liides	liides	liides	liides	liides	-	liides
.skp (SketchUp)	+	+	plg	-	+	+	+	+
.fbx (nt 3ds Max jt)	+	-	-	-	+	+	-	+
.3ds (nt 3ds Max, ARCHICAD jt)	-	-	-	-	-	+	-	-
.obj (nt 3ds Max, Blender jt)	+	-	-	-	-	+	-	+
.3dm (Rhinoceros)	liides	-	liides	-	+	-	-	-
.gha (Grasshopper)	liides	-	-	-	-	-	-	-
.pln (ARCHICAD)	-	-	-	-	liides	liides	-	-
.nwc (Navisworks)	-	-	-	-	liides	-	-	+
.ifc	Reviti, ARCHICADi või SketchUp Pro kaudu	Reviti, ARCHICADi või SketchUp Pro kaudu	Reviti, ARCHICADi või SketchUp Pro kaudu	Reviti kaudu	Reviti, ARCHICADi või SketchUp Pro kaudu	Reviti, ARCHICADi või SketchUp Pro kaudu	ARCHICADi või SketchUp Pro kaudu	Reviti, ARCHICADi või SketchUp Pro kaudu
Punktipilv	-	-	-	-	.pts, .fls	-	-	-
Mudeli visualiseerimine								
Mudeli töötlemise keskkond	Arvuti	Arvuti	Arvuti	Pilv	Arvuti	Arvuti	Arvuti	Pilv
Sobib väikesemahuliste mudelite visualiseerimiseks (Reviti näidismaja, KODA)	+	+	+	+	+	+ ¹⁾	+	+
Saab hakkama mahukate koondmudelite visualiseerimisega (VRG ja Kohtumaja)	+	-	+	-	+ ²⁾	-	-	+ ²⁾
Mudel näib VR tarkvaras fotorealistlik	-	+	+	+	+	+	-	+
Materjalide värvus ja tekstuur kanduvad edasi VR tarkvarasse (kui kasutatakse selleks sobivat lähteformaati)	+	+	+	+	+	+	+	+
Inimese 2D kujutis on kuvatud 3D kujuna	-	+	+	+	+	+	-	- ³⁾
Inimene on animeeritud	-	-	-	+	+	+	-	- ³⁾
Visualiseerimistarkvara funktsionaalsus								
Mudeli maketivaade	+	+	-	+	+	-	+	+
Mudeli maketi mõõtkava muutmine	+	-	-	+	+	-	+	+
Maketi liigutamine	+	-	-	+	-	-	-	+
Mudeli maketist reaajas löike tegemine	+	-	-	-	+ ⁴⁾	-	-	-
Märkuste lisamine	+	+	-	-	+	-	+ ⁵⁾	+ ⁶⁾
Vahemaade mõõtmine	+	+	-	+	+	-	-	+
Mudelikihitide sisse ja välja lülitamine	+	+	-	+ ⁴⁾	+	-	+	-

	IrisVR Prospect 2.1.1	VRcollab 0.9.2	Enscape 2.2.3	Autodesk Revit Live 2.1.781	Fuzor 2018 4.0	Twinmotion 2018	SYMMETRY alpha 1.6	InsiteVR 01.06.2018
Võimalik võtta valikusse mudeli elemente ja kuvada nende infot	+	+	-	+ ⁴⁾	+	-	-	-
Elemendi liigutamine	-	-	-	-	+	-	-	-
Elemendi omaduste muutmine	-	-	-	-	+	-	-	-
Elemendi kustutamine	-	-	-	-	+ ⁴⁾	-	-	-
Elemendi lisamine	-	-	-	-	+	-	-	-
Dokumentide kuvamine	-	-	-	-	-	-	-	-
Mudeli muutmine modelleerimistarkvaras (nt Revit) kajastub kohe VR keskkonnas	-	-	+	-	+	-	-	-
Mudeli muutmine VR keskkonnas kandub edasi modelleerimistarkvarasse	-	-	-	-	+	-	-	-
Objekti paiknemine ilmakaarte suhtes								
Päevaaja muutmine (kellaeg ja päikese asukoht ning varjud)	+	-	+ ⁷⁾	+ ⁴⁾	+	+ ⁴⁾	+	-
Päikese liikumine on seotud mudeli geograafilise asukohaga	+	-	+	+	+	+	+	-
Pimedas hakkab tööle valgustus	-	-	+	-	+	-	-	-
Varjusid on võimalik sisse ja välja lülitada	+	-	-	-	+ ⁴⁾	-	-	-
Virtuaalreaalsuses liikumise viisid								
Teleporteerudes	+	+	+	+	+	+	+	+
Sujuvalt liigudes (kõndides või lennates)	+ ⁸⁾	+	+	-	+	-	-	+
Liikumine läbi läbipaistmatute pindade	-	+	+	-	+	-	-	+
Tarkvaras saab liikuda läbi eelseadistatud vaatluspunktide või neid saab tarkvaras luua. (Camera Path)	+	+	+	+	+	-	+	+
Infovahetuse viisid								
Mitme kasutajaga samaaegne mudelis viibimine (Multiuser)	+	- ⁹⁾	-	-	+	-	-	+
Teiste mudelis viibijatega saab suhelda mikrofoni ja kõrvaklappide abil	+	- ⁹⁾	-	-	+	-	-	+
Multiuseri funktsiooni saab kasutada ka ilma VR-peakomplektita (lauaarvuti abil)	+	- ⁹⁾	-	-	+	-	-	+
Kuvatõmmise tegemine VR-keskkonnas	+	+	-	-	-	-	+	+
Video tegemine VR-keskkonnas	-	-	-	-	-	-	-	-
Läbivaatuse tulemuste raport (nt Exceli tabel)	-	+	-	-	+	-	-	+
Võimaldab avada mudelit VR keskkonnas projekteerimistarkvara kasutamata	+	+	+	+	+	+	+	+
Hinnakiri								
Tasuline/tasuta	Tasuline	Tasuline	Tasuline	Tasuta ¹⁰⁾	Tasuline	Tasuline	Tasuta	Tasuline

	IrisVR Prospect 2.1.1	VRcollab 0.9.2	Enscape 2.2.3	Autodesk Revit Live 2.1.781	Fuzor 2018 4.0	Twinmotion 2018	SYMMETRY alpha 1.6	InsiteVR 01.06.2018
Prooviperioodi pikkus	45 päeva	14 päeva	14 päeva	14 päeva	-	20 päeva	-	14 päeva
Kuutasu Standalone licence	50...225 \$	-	45 \$	-	750 \$	-	-	275...725 \$
Kuutasu Network licence	350 \$	-	-	-	950 \$	-	-	-
Aastatasu Standalone licence	-	3000 \$	449 \$	3875 \$	-	1650 \$	-	-
Aastatasu Network licence	-	-	679 \$	-	-	2950 \$	-	-
Toetatavad virtuaalreaalsuse prillid								
Oculus Rift	+	+	+	+	+	+	+	+
HTC Vive	+	+	+	+	+	+	+	+
Windows Mixed Reality VR prillid	+	+	+	+ ¹¹⁾	+	+	+	+
Kodulehe informatiivsus								
Kodulehe informatiivsus	Väga hea	Kehv, aegunud	Väga hea	Hea	Väga hea	Hea	Hea	Väga hea
Märkused: 1) Sobiv Reviti näidismaja visualiseerimiseks, KODA mudeli visualiseerimiseks vajaks mudel täiendavat optimeerimist. 2) Sobiv VRG visualiseerimiseks, Kohtumaja mudeli visualiseerimiseks vajaks mudel täiendavat optimeerimist. 3) Inimesed, puud ja auto ei kandunud üle. 4) Võimalik vaid töölaua kaudu. 5) Võimalik on ainult sümbolite lisamine. 6) Võimalik on ainult eelseadistatud märkuste lisamine või <i>speech-to-text</i> märkus. 7) Võimaldab vaid kellaaja muutmist. 8) Puudub lennurežiim. 9) Tootja andmetel on võimalik, kuid funktsioon ei tööta. 10) Osana Revit AEC paketest. 11) Toimib, kuid tegelike juhtpultide asemel kuvatakse HTC Vive juhtpulte. 12) Mudelite visualiseerimistarkvarasse viimise töövood on kirjeldatud tabelis 13.								

4.1. IrisVR Prospect 2.1.1

4.1.1. Tarkvara lühikirjeldus

IrisVR Prospect ([link](#)) on tarkvara, mis visualiseerib mudeleid virtuaalreaalsuses. Sellega saab kiirelt visualiseerida üldlevinud modelleerimistarkvarades koostatud mudeleid. Tarkvara toetab enamlevinud VR prille nagu HTC Vive, Oculus Rift ja Windows Mixed Reality VR. Tarkvara arendamisel on palju tähelepanu pööratud kasutajate vahelise suhtluse lihtsustamiseks. Selle jaoks on välja töötatud failiformaadid .ivz ja .ivm, mida saab vaadata külaliskasutaja (*Guest*) abil läbi IrisVR Prospecti teegi. Seejuures on tähtis, et .ivz faili korral saab mudelit vaadelda üks kasutaja korraga, kuid .ivm faili abil on võimalik ühte mudelit vaadelda kuni 12-l kasutajal (edaspidi *multiuser*). Nende failide eksportimise ja impordimise kohta leiab infot tootja kodulehelt ([link](#)).

IrisVR tarkvaral on liideseid olemas tarkvaradele Revit, Rhino ja Grasshoper, mis teeb mudelite üleviimise visualiseerimistarkvarasse oluliselt mugavamaks. Ühtlasi võimaldab IrisVR avada visualiseeringu ilma projekteerimistarkvara litsentsita, kuid sealjuures peab nt Revit faili korral omama Revit Viewer tarkvara.

Kasutajad saavad teineteisega visualiseerimiskeskonnas suhelda kasutades VR prillide mikrofoni ja kõrvaklappe (olenevalt VR prillidest võib olla vajalik lisada juurde kõrvaklapid ja/või mikrofoni). Tarkvaras saab mudelit vaadata nii maketi kui ka tegelikus mõõtkavas ning mudelis viibides võimaldab IrisVR Prospect teha keskkonda märkmeid, mõõta kaugusi, muuta kellaaega, teha kuvatõmmiseid ning lülita mudeli kihte sisse-välja. IrisVR keskkonda on võimalik kasutada ka ilma VR prille omamata.

IrisVRil on olemas kaks virtuaalreaalsuse tarkvara lahendust, millest üks on mõeldud lauaarvutitele (Prospect) ja teine mobiiltelefonidele (Scope). Prospect ehk lauaarvutitele mõeldud tarkvara võimaldab 3D faile muuta täielikult navigeeritavaks VR keskkonnaks. Scope ehk mobiiltelefonidele mõeldud tarkvara võimaldab kasutajatel mobiiltelefonidesse alla laadida 360-kraadiseid töödeldud panoraampilte, mida on võimalik vaadata kasutades nt Google Cardboard või Samsung Gear VR seadet. Nendes piltides ei ole võimalik ringi liikuda, küll aga on võimalik tunnetada ruumi sügavust ja vaadata mudelis ringi.

Virtuaalreaalsus nõuab suure jõudlusega riistvara, et tuua kasutajani kaadrisagedus, mis on vajalik välismaailma jäljendamiseks – piisavaks loetakse 90 kaadrit sekundis. IrisVR kodulehel on toodud minimaalsed ja soovitatavad nõuded arvuti riistvarale, mida on lühidalt kirjeldatud [tabelis 9](#).

Tabel 9. Minimaalsed ja soovituslikud nõuded arvuti riistvarale [21]

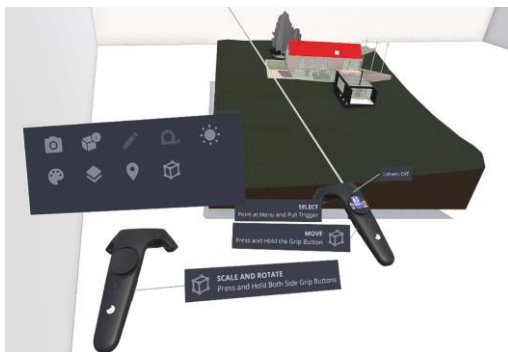
Nõue	Minimaalsed nõuded	Soovitatavad nõuded
Graafikakaart	NVIDIA GTX 1060 võrdväärne või parem	NVIDIA GTX 1080 võrdväärne või parem
Protsessor	Intel i7-6700 võrdväärne või parem	Intel i7-7700 võrdväärne või parem
Mälu	16 GB RAM	32 GB RAM
Video väljund	Ühilduv HDMI 1.3 video väljundiga	Ühilduv HDMI 1.3 video väljundiga
USB	3x USB 3.0 pesad, lisaks 1x USB 2.0 pesa	4x USB 3.0 pesad, lisaks 1x USB 2.0 pesa
Operatsioonisüsteem	Windows 7 SP1 64-bit või uuem	Windows 10 64-bit

IrisVR Prospect on tasuline tarkvara, mida on võimalik tasuta proovida 45 päeva. Seejärel on võimalik valida nelja erineva paketi vahel – Basic hinnaga 50 \$/kuu, Pro hinnaga 150 \$/kuu, Pro Plus hinnaga 225 \$/kuu ja Team hinnaga 350 \$/kuu ([link](#)).

4.1.2. Tarkvara funktsionaalsus

Tarkvara IrisVR Prospect funktsionaalsus:

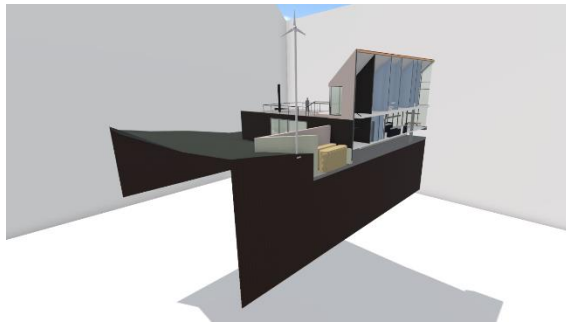
- visualiseerimiskeskonnas kuvatakse alati pultide funktsioonide selgitused (joonis 11) ning esmakordsel sisenemisel saab läbida instruktaaži;
- keskkonnas liikumise viisid:
 - teleporteerudes, kusjuures seda saab teha ka läbi klaaspinna (joonis 12);
 - sujuv liikumine kõikides suundades, v.a. läbi vertikaalsete elementide (seinad, ukсед, aknad);
 - kasutaja saab mudelis liikuda eelseadistatud ala piires füüsiliselt liikudes;
- kasutaja vaate suunda on võimalik muuta ka pultidelt;
- mudelit on võimalik kuvada maketivaates ning seda on võimalik seal pöörata ja muuta selle mõõtkava (joonis 13);
- mudelist on võimalik teha lõiget, kuid seejuures ei saa valida lõiketasapinna täpset asukohta ning sisenedes mudelisse lõige kaob (joonis 14);
- erinevate vaatenurkade (*viewpoint*) kasutamine on võimalik juhul, kui need on nt Revitis eelnevalt seadistatud (joonis 15);
- on võimalik valida kuupäeva ja kellaaega, mis muudab varjusid ja loomulikku valgust, kusjuures hoone asend on seotud ilmakaartega (joonis 16);
- pikkusmõõtude võtmine (joonis 17);
- mudelikihtide sisse-välja lülitamine (joonis 18);
- elemente on võimalik võtta valikusse ja vaadelda nende nimetust, kihti ning materjali (joonis 19);
- *multiuser* funktsioon:
 - sama mudeli vaatlemine mitme (kuni 12) kasutaja poolt samaaegselt (joonis 20);
 - kui kasutajad asuvad erinevates asukohtades, siis saab teineteisega suhelda kasutades mikrofoni ja kõrvaklappe;
 - mudelis on võimalik liikuda ka ilma VR prillideta kasutades arvutit, klaviatuuri ja hiirt (juhul kui mõnel koosolekul viibijal ei ole VR prille), kuigi klaviatuuri abil liikumine on üsna ebamugav;
- kuvatõmmiste tegemise võimalus (joonis 21);
- märkustega on võimalik mudelit täiendada kasutades õhku või tasapinnale joonistamist ja ringidega pindade tähistamist, kusjuures on võimalik määrata ka kasutatavat värvi ning joone jämedust; virtuaalreaalsuses mudelisse lisatud märkused jäävad sinna alles ja neid on võimalik näha järgnevate mudeli vaatluste käigus (joonis 22).



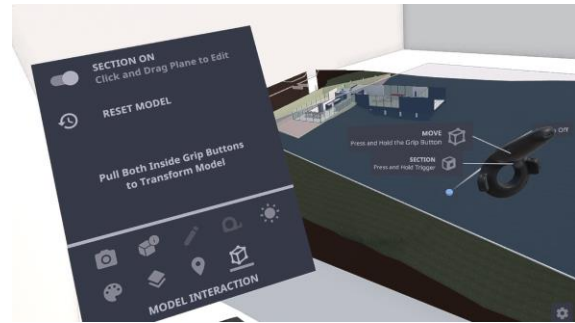
Joonis 11. Pultide funktsioonide kirjeldused



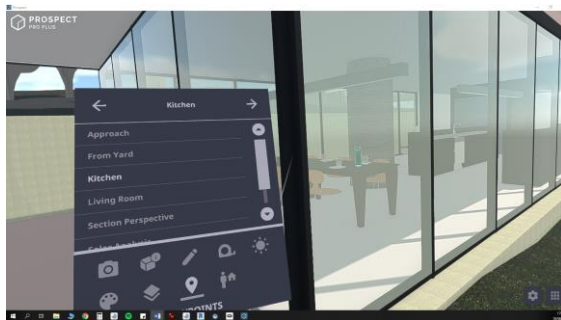
Joonis 12. Teleporteerumise trajektoor



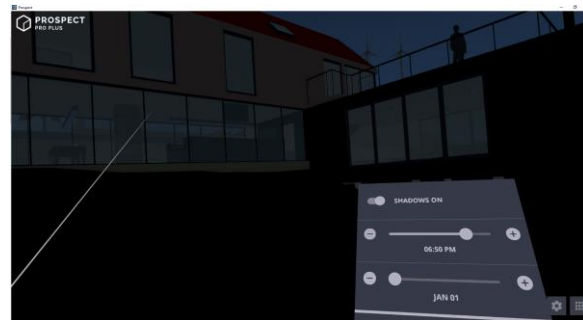
Joonis 13. Reviti näidismaja maketivaade



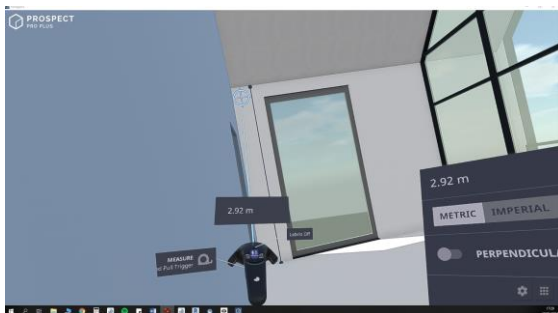
Joonis 14. Lõike tegemine maketivaates



Joonis 15. Vaatenurkade (viewpoint) kasutamine



Joonis 16. Kellaaja ja kuupäeva muutmine



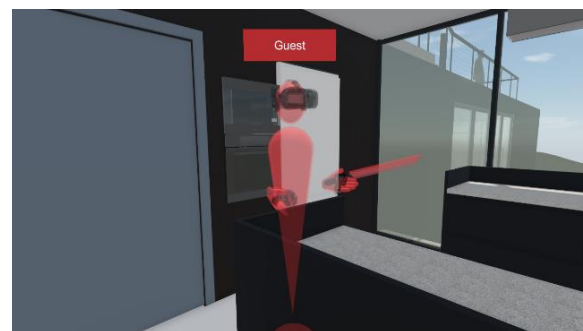
Joonis 17. Akna kõrguse mõõtmine



Joonis 18. Katuse kiht on välja lülitatud



Joonis 19. Elemendi valikusse võtmine ning selle parameetrite kuvamine teise puldi menüüs



Joonis 20. Teine kasutaja (Guest)



Joonis 21. Kuvatõmmise tegemine



Joonis 22. Markeerimine

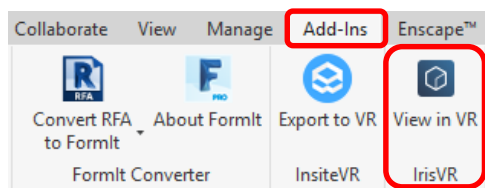
4.1.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse

IrisVRil on välja töötatud liidesed kolmele tarkvarale – Autodesk Revit, Grasshopper 3D ja Rhino 3D. See tähendab, et mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse on suhteliselt lihtne ja mugav. Mudelid, mis on .skp, .fbx või .obj formaadis, saab IrisVRis käivitada kasutades Prospecti teegi *Add File* nuppu. Alates Prospect Pro paketist salvestub mudel Prospecti teeki ja järgnevatel kordadel on mudelit võimalik käivitada otse teegist.

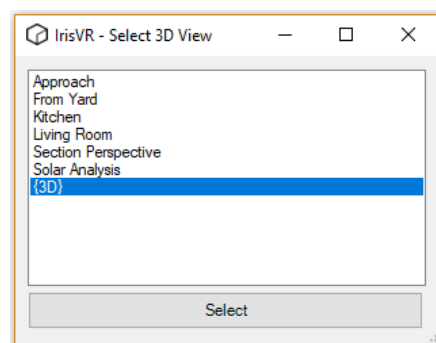
Järgnevalt on lühidalt kirjeldatud, kuidas käesolevas uuringus vaadeldavad mudelid on viidud visualiseerimistarkvarasse IrisVR.

Autodesk Reviti mudelite (Reviti näidismaja ja KODA) viimine IrisVRi:

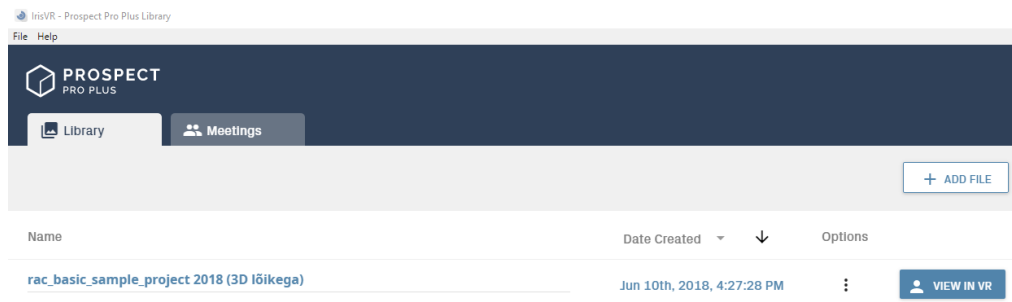
- paigaldada IrisVR Prospect;
- avada Autodesk Revitis soovitud mudel;
- vajutada Reviti *Add-Ins* menüüs oleval IrisVR liidese nupul (joonis 23);
- valida, milline 3D vaade käivitada (joonis 24) – need vaated peavad olema visualiseerimistarkvara jaoks eelnevalt loodud;
- järgnevalt käivitub IrisVR Prospecti teek ja visualiseeringu saab käivitada Prospect teegi nupult *View in VR* (joonis 25).



Joonis 23. IrisVR liidese asukoht Revitis



Joonis 24. 3D vaadete valik



Joonis 25. IrisVR Prospect teek

Alternatiivne võimalus viia Reviti loodud mudel IrisVRi on kasutada .fbx failiformaati. Seda oleks mõistlik kasutada siis, kui eesmärgiks on mudelit visuaalselt töödelda täiendavas tarkvaras (nt 3ds Max). Formaadi .fbx otse üleviimist IrisVRi ei ole mõistlik teha, kuna kõikide elementide pinnaomadused (värvus, tekstuurid ja läbipaistvus) muutuvad protsessi käigus (joonised 26 ja 27).



Joonis 26. Vasakul Reviti näidismaja välisvaade modelleeritarkvara vaates ja paremal sama hoone viidud visualiseeritarkvarasse .fbx failiformaadi abil

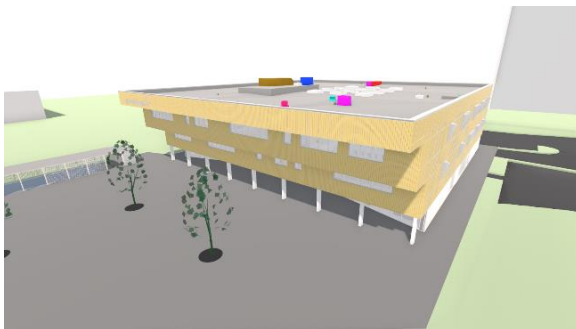


Joonis 27. Vasakul Reviti näidismaja sisevaade modelleeritarkvara vaates ja paremal sama hoone viidud visualiseeritarkvarasse .fbx failiformaadi abil

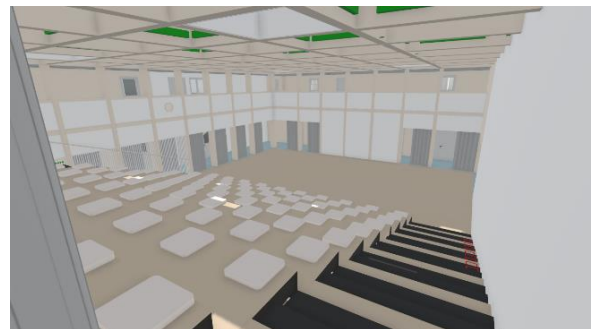
Viimsi Riigigümnaasiumi mudeli osamudelid on .pln ja .ifc formaatides ning nende viimiseks IrisVR Prospect keskkonda prooviti viite varianti, et tuvastada nii sobivad kui mittesobivad protsessid:

1. Kuna ARCHICADil puudub IrisVR liides, siis on üheks võimaluseks salvestada .pln formaadis olevad mudelid ARCHICADist .skp formaati (selle eesmärgiks on kanda edasi arhitektursele mudelile määratud tekstuure). Seejärel kasutada tarkvara Sketchup Pro, kus avada üks .skp formaadis osamudel ning importida teised .skp ja .ifc failid sinna juurde. Seejuures tasub tähele panna, et iga osamudeli lisamine muutub järjest aeganõudvamaks. Tervikuna on selline lahendus toimiv (joonised 28 ja 29), kuid .ifc failide sissetoomiseks on vaja tasuta SketchUp Pro tarkvara. Kasutuskogemuse hindamisel kasutati just seda varianti.

2. Teise variandina on võimalik .pln ja .ifc formaadis mudelid avada ARCHICADis ning salvestada Sketchup formaati. Seejärel saab .skp formaadis mudelid koondada kokku üheks Sketchupi mudeliks ning tõsta lõplik mudel IrisVRi teeki. Mahukate .skp mudelite SketchUpi laadimine on väga aeganõudev. Peale tervikmudeli valmimist ja IrisVRi teeki tõstmist ning visualiseerimisprotsessi käivitamist võib tarkvara anda veateate ning toimingu katkestada. Kui seejärel protsessi korrata, siis mõnedel juhtudel hakkab visualiseering tööle. Visualiseering näeb välja sama, nagu eelmises variandis kirjeldatud (joonised 30 ja 31). Vaatamata tehnilistele probleemidele on antud protsess siiski soovitatav, kuna ei vaja peale IrisVRi ühtegi tasulist tarkvara (eelduseks on, et ARCHICADist on eelnevalt salvestatud .skp failid).
3. Kolmas variant mudeli avamiseks on kasutada Revit'is olevat IrisVR liidest. Selle jaoks tuleb ARCHICADi mudel salvestada vanasse SketchUp 8 formaati ning importida Revit'isse. Mudelid, mis on .ifc formaadis, saab linkida Revit'i mudelisse. Tulemuseks on, et SketchUp 8 formaati salvestatud mudel on üleni musta värvi (joonised 32 ja 33) ning .ifc failis olnud elemendid on osaliselt paigast nihkunud või kadunud.
4. Neljanda variandi puhul salvestati ARCHICADi .pln failid .ifc formaati ning kõik mudelid imporditi tarkvarasse Revit. Seejärel käivitati visualiseering IrisVR liidest kasutades. Protsessi käigus läksid paljud elemendid kaduma (joonised 34 ja 36), paljud elemendid olid muutnud asukohta (joonised 35 ja 36) ning materjalide tekstuurid ei kandu .ifc-ga üle (joonis 35).
5. Viiendas variandis salvestati ARCHICADi mudelid .ifc formaati ning kõik osamudelid viidi tarkvarasse SketchUp Pro, mis sai selle protsessiga küll suure ajakuluga hakkama (käesoleva mudeli korral 2 tundi), kuid ei võimaldanud lõpptulemuse salvestamist.



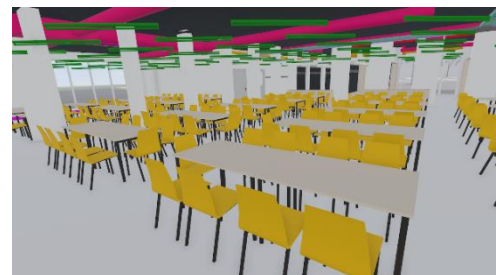
Joonis 28. VRG visualiseering soovitatava protsessi korral (variant 1)



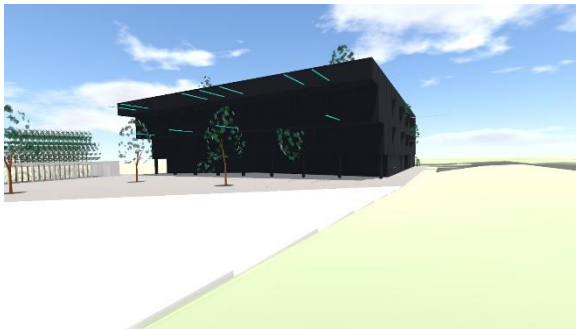
Joonis 29. VRG visualiseering soovitatava protsessi korral (variant 1)



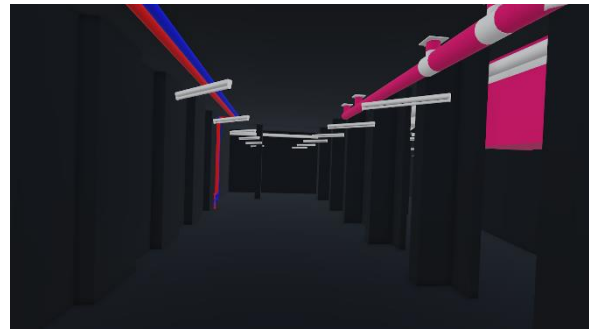
Joonis 30. VRG visualiseering soovitatava protsessi korral (variant 2)



Joonis 31. VRG visualiseering soovitatava protsessi korral (variant 2)



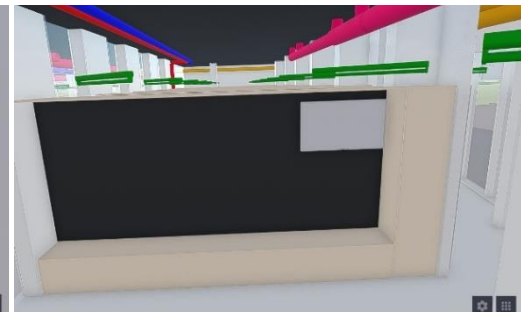
Joonis 32. VRG visualiseering ebasoovitava protsessi korral (variant 3) – musta värvusega pinnad



Joonis 33. VRG visualiseering ebasoovitava protsessi korral (variant 3) – musta värvusega pinnad



Joonis 34. VRG visualiseering ebasoovitava protsessi korral (variant 4) – vasakpoolsel joonisel on garderoobikapid puudu ning puud toas (parempoolsel joonisel on näidatud tegelik olukord)



Joonis 35. VRG visualiseering ebasoovitava protsessi korral (variant 4) – materjalide tekstuurid on puudu ja mitmed elemendid (näiteks torud ja puud) on muutnud asukohta



Joonis 36. VRG visualiseering ebasoovitava protsessi korral (variant 4) – mitmed elemendid (näiteks torud ja puud) on muutnud asukohta ning osad elemendid on puudu

Kohtumaja mudel on .ifc formaadis ja selle viimiseks IrisVR Prospect keskkonda on käsitletud kolme tarkvara, mis suudavad .ifc formaati avada (Revit 2018, Sketchup Pro ja ARCHICAD):

1. Kui .ifc fail avada Revitis, siis salvestatud faili andmemaht on 1,78 GB ja selle kolmnurkade arv tarkvara 3ds Max andmetel on 34 miljonit. Kasutades Revitis olevat IrisVR liidest hakkab tarkvara mudelit töötlemiseks ja ~20 min pärast katkestab toimingu veateatega.
2. Kui .ifc fail avada tarkvaras Sketchup Pro, siis mudeli importimise lõpufaasis antakse veateade, et importimine ebaõnnestus.
3. Kui .ifc avada ARCHICADis, siis on võimalik mudel salvestada .skp formaati ja seejärel tõsta IrisVR Prospect teeki, mis töötleb mudeli visualiseeringuks. ARCHICADi formaati salvestatud

Kohtumaja mudeli andmemaht on 398 MB ja ARCHICADi Polycount liidese põhjal koosneb mudel 5,2 miljonist kolmnurgast, kuid .skp formaati salvestatud mudeli maht on 1,2 GB. Lisaks tekib .skp formaati salvestatuna juurde kiht nimega *Layer0*, mida kõik elemendid jagavad (samas jääb alles ka nende esialgne .ifc formaadis olnud kiht). Kasutuskogemuse hindamisel kasutati just seda varianti.

4.1.4. Kasutuskogemus

IrisVRi visualiseering on suhteliselt tõetruu (joonis 37), kuvades materjalide värve ja tekstuure. Kuid kuvatud materjalid näevad välja tuhmid, sest materjalidel (näiteks metall, klaas ja nahk) puudub läige. Visualiseerimiskeskonna valgusallikaks on päike, mis tekitab varje nendele objektidele, millele ta langeb. Objektid teineteist varjutada ei suuda. Keskkonnas viibides tekib hea ruumitaju tunnetus, kuid keskkonna visuaalne kvaliteet ei ole sellisel tasemel, et muudaks keskkonna elavaks ja usutavaks.

Teleporteerumine on IrisVRis täpne ja seda on võimalik teha ka kitsamatesse vahedesse. Selle liikumisviisi miinuseks on tarkvarapoolne kõrgusepiirang – teleporteerumiseks võib ruumi olla, kuid kui lagi on selles kohas liiga madal, siis ei ole võimalik sinna ligi pääseda ning tarkvara tähistab sihtkoha ristiga (joonis 38). Ligipääsu ei taga ka puldi abil sujuvalt liikumine, sest IrisVRis seiskub sujuv liikumine kohe, kui tarkvara tunneb, et kasutaja liigub elemendile liiga lähedale. Ainsana on võimalik tagada ligipääs siis, kui virtuaalreaalsuse keskkond on tekitatud kasutades ruumipõhist jälgimist (*Room Scale*), sest siis saab kasutaja teleporteeruda lõppkohale võimalikult lähedale ja seejärel astuda füüsiliselt sihtkohta. Tarkvaras puudub lendamise režiim, mis lubaks läbi pindade liikuda.

Kui hoone ümber puudub tasapind, kuhu teleporteeruda, siis on läbi seinakonstruktsioonide hoonest välja liikumine raskendatud. Sellisel juhul tuleb korraks välja lülitada kõik (või ainult segavad) kihid, liikuda sujuvalt soovitud suunas ning seejärel kihid uuesti aktiveerida.

Tarkvara funktsionaalsus võimaldab teada saada, mis elementidest mudel koosneb, kuid see info on piiratud elemendi kihi, nimetuse ja materjaliga. Sisukamat BIM informatsiooni see tarkvara kuvada ei võimalda. Eelpoolmainitud infole ligipääsemine sõltub suuresti ka sellest, kuidas mudel on valmistatud ja visualiseerimistarkvara jaoks kohandatud. Kui mudelit tuleb visualiseerimise jaoks teise formaati ümber salvestada, siis tuleb jälgida, mis kihtidel soovitud elemendid paiknevad ning mis juhtub kihtidega ümbersalvestamisel (võib esineda olukord, kus mitmed mudeli kihid koonduvad ühele kihile ja seetõttu ei ole need VR tarkvaras enam funktsionaalselt kasutatavad).

Tarkvara võimaldab kasutajal näha, kuidas paikneb päike hoone suhtes erinevatel kellaaegadel ja kuupäevadel. Hoone paiknemise lähteinfo saadakse projekteerimistarkvara geoinfost. Selle abil saab katsetada hoone esmast ruumiprogrammi ning fassaadilahendust, mis annab hea ettekujutuse sellest, kui palju valgust ruum vastavalt kellaaajale võib saada. Seda saab kasutada ka esmase päikese varjestuslahenduste katsetamiseks.

Multiuser funktsioon töötab väga hästi. Kasutajatel on võimalik üksteisega suhelda mikrofoni ja kõrvaklappide abil. Samuti saab selles keskkonnas viibida ka ilma peakomplektita vaid arvutit kasutades. Teisi kasutajaid on keskkonnas lihtne jälgida, sest on näha avatari käte liikumist ning pea vaatesuunda. Kasutajatega on lihtne koos mudelis liikuda ja kui keegi peaks vaatluse käigus mudelis ära eksima, siis on hõlpsalt võimalik nupu abil teise kasutaja kõrvale teleporteeruda või kõik kasutajad hoopis enda juurde kutsuda. Saab kasutada keskkonda joonestamist, pindade märgistamist ja pikkusmõõtude võtmist, mis töötavad väga hästi olulise info edasiandmisel.

Kui mudelis esinevad plinkivad pinnad, siis on võimalik vastav objekt valikusse võttes tuvastada kiht, millel see paikneb ning see välja lülitada. Seejuures peab arvestama asjaoluga, et välja lülitatakse kõik sellel kihil paiknevad objektid.



Joonis 37. Reviti näidismaja suhteliselt tõetruu visualiseering



Joonis 38. Teleporteerumine ei ole võimalik liiga väikeste mõõtudega ruumi

Reviti näidismaja (joonised 39 ja 40):

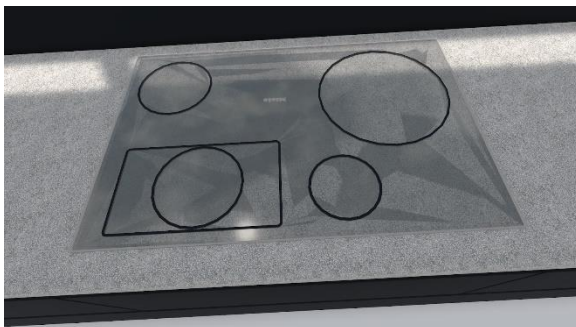
- VR keskkonnas ringi liikudes ei olnud näha, et mudeli ümbertöötlemise käigus oleks elemente kaduma läinud. Kõik elemendid, mis olid olemas modelleerimistarkvaras, olid olemas ka visualiseeringus.
- Vaatluse käigus esines kahel juhul materjalide plinkimist. Neist esimene oli akende materjalikihtide ning teine köögi töötasapinna ja pliidiplaadi vahel (joonis 41). Viimane probleem esines juba Reviti mudelis, kus pliidiplaat oli läbipaistev.
- Inimeste, puude ja auto geomeetria kuvatakse visualiseerimistarkvaras samamoodi, nagu Reviti mudelis, kuid puudub tekstuur (joonis 42).



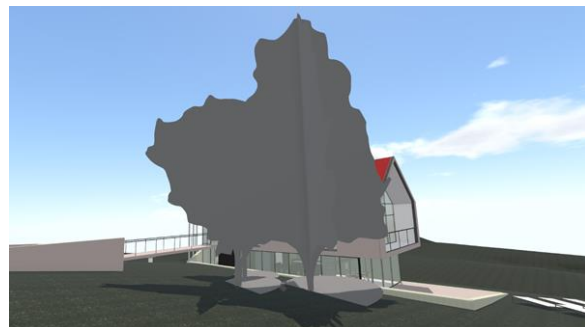
Joonis 39. Reviti näidismaja välisvaade IrisVRis



Joonis 40. Reviti näidismaja sisevaade IrisVRis



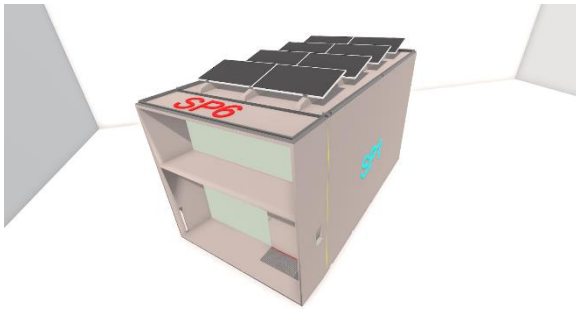
Joonis 41. Köögi töötasapinna ja pliidiplaadi vahelise pinna plinkimine



Joonis 42. Puu geomeetria on sama, mis mudelis, kuid tekstuur on kadunud

KODA (joonised 43 ja 44):

- KODA mudeli visualiseerimisel esines ainult väiksemaid probleeme ning üldiselt on lõpptulemus väga hea;
- esines üksikuid juhtumeid, kus pinnamuster ja/või värvitoon oli muutunud (joonis 45);
- mõned elemendid olid puudu (joonis 46);
- osamudelite kattuvate elementide korral esines pindade plinkimist;
- kihtide sisse ja välja lülitamine ei tööta soovitud kujul, kuna Revitis mudeldamisel on kasutatud sama elementide perekonda.



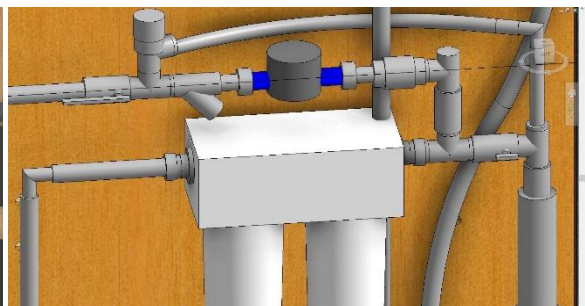
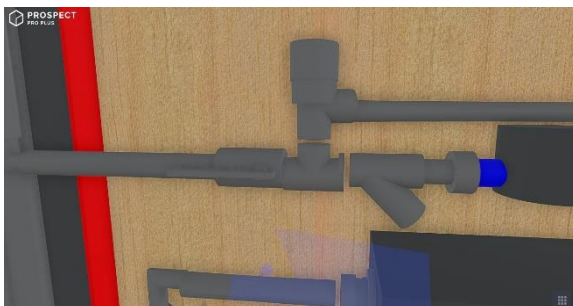
Joonis 43. KODA välisvaade IrisVRis



Joonis 44. KODA sisevaade IrisVRis



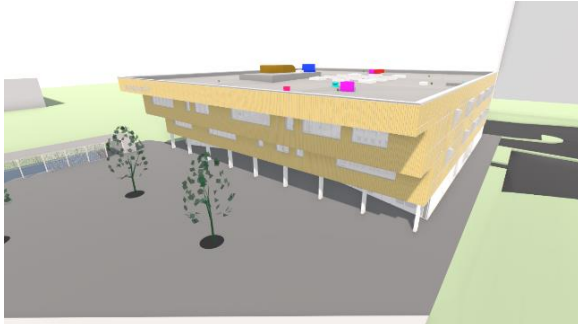
Joonis 45. Vasakul on näha kraanikausi ebaõiget pinnamustrit ja pliidi valet värvi KODA mudelis (õiged tekstuurid on parempoolsel joonisel)



Joonis 46. Vasakpoolsel joonisel puuduvad torustiku osad KODA mudelis (paremal õige mudel)

Viimsi riigigümnaasium (**joonised 47 ja 48**):

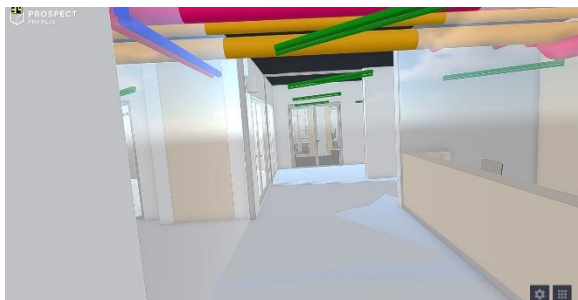
- mudeli visualiseerimisel ei tuvastatud puuduvaid või ebakorrektsid elemente;
- kuna tegemist on suhteliselt mahuka mudeliga, siis üle poole tunni mudelis viibimine mõjus enamike kasutajate enesetundele halvasti;
- osamudelite kattuvate elementide korral esines pindade vilkumist (**joonis 49**);
- visualiseeringus oli võrreldes algmudeliga nähtavaks muutunud tsoone tähistav läbipaistev massiivelementide kiht (**joonis 50**), kuid seda on võimalik välja lülitada.



Joonis 47. Viimsi Riigigümnaasiumi välisvaade
IrisVRis



Joonis 48. Viimsi Riigigümnaasiumi sisevaade
IrisVRis



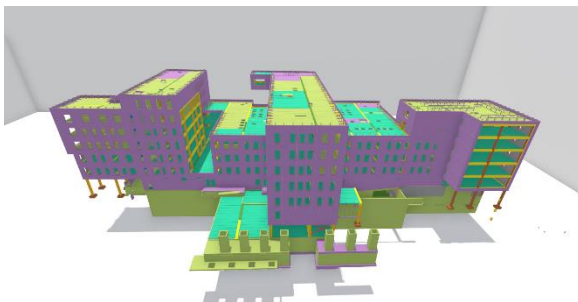
Joonis 49. Põranda vilkumine, mis on tingitud osamudelite elementide kattumisest



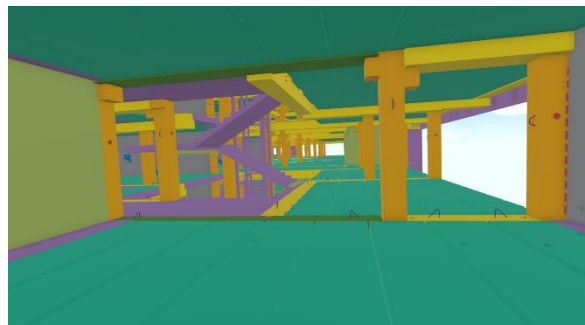
Joonis 50. Juurde tekkinud läbipaistev massiivelement

Kohtumaja (**joonised 51 ja 52**):

- mudeli visualiseerimisel ei tuvastatud puuduvaid või ebakorrektsid elemente;
- ainsa defektina oli tuvastatav kattuvate osamudelite ühiste pindade plinkimist.



Joonis 51. Kohtumaja välisvaade IrisVRis



Joonis 52. Kohtumaja sisevaade IrisVRis

4.1.5. Koondhinnang

Plussid:

- + tarkvara saab lihtsalt ja kiirelt hakkama väikeste mudelite (nagu Reviti näidismaja ja KODA moodulmaja) töötlemise ning kuvamisega – nendes oli mugav ringi liikuda ning mudelis oli võimalik viibida ka pikemaajaliselt;
- + mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse on lihtne ja toimiv protsess, kui saab kasutada projekteerimistarkvara liidest või visualiseerimistarkvara poolt soovitatud failiformaati;
- + tarkvara poolt pakutavad navigeerimisviisid on mitmekülgsed ja mugavad ning võimaldavad liikuda peaaegu kõikjale;
- + tarkvara võimaldab lihtsalt failide jagamist läbi .ivz ja .ivm formaatide;
- + mitme kasutajaga samas mudelis viibimine toimib suurepäraselt ja võimaldab kasutajatel omavahel mugavalt suhelda;
- + suudab kuvada detailseid ja mahukaid mudeleid;
- + võimaldab lisaks mudelivaatele ka kasutajasõbralikku maketivaadet ning sealjuures teha lõikeid;
- + tarkvara funktsionaalsus on piisav, et kasutaja saaks ülevaate, millest hoone koosneb ja soovi korral teostada mõõdistusi, teha märkmeid, lülitada kihte sisse ja välja ning simuleerida päikese liikumist.

Miinused:

- Viimisi Riigigümnaasiumi ja Kohtumaja hooned olid mahult märgatavalt suuremad ja see avaldas tuntavat mõju visualiseerimise kaadrisagedusele ja seetõttu ka enesetundele;
- tuleb arvestada, et .ifc formaadis olevad mudelid ei pruugi olla korrektselt kuvatud (enim esines probleeme Revitisse viidud .ifc osamudelitega);
- visualiseeritud keskkond näeb välja pigem tuhm ja elutu, kuna ei kuvata läikeid;
- puudub lennurežiimis liikumise võimalus;
- valikusse võetud elementide info on ebapiisav, võimaldades vaadata vaid elemendi kihti, nime ja materjali.

4.2. VRcollab 0.9.2

4.2.1. Tarkvara lühikirjeldus

VRcollab ([link](#)) on VRcollab Pte Ltd poolt arendatud visualiseerimistarkvara, mille esimene versioon jõudis turule 2016. aastal. Tarkvara toetab HTC Vive'i, Oculus Rifti ja Windows Mixed Reality VR prille. Tarkvara kodulehel on välja toodud, et see toetab *multiuser* funktsiooni, VR keskkonnas kommentaaride lisamist, mõõtude võtmist ning läbivaatuse tulemuste koondraporti moodustamist.

VRcollabil on olemas Reviti liides, mille kaudu saab käivitada Revitisse imporditud mudeleid ning teek, kuhu on võimalik laadida .skp või VRcollabi poolt välja arendatud .vrcollab formaadis faile.

Selleks, et tuua kasutajani piisavalt hea pilt (püsivalt 90 kaadrit sekundis) ning kasutada tarkvara VRcollab maksimaalselt, peaks arvuti vastama järgnevatele soovituslikele nõuetele [22]:

- graafikakaart: NVIDIA GTX 1070, sarnane või parem;
- protsessor: Intel i7-6700, sarnane või parem;
- muutmälu: 32 GB+ RAM;
- videoväljund: ühilduv HDMI 1.3;
- USB-pesad: 3×USB 3.0 ja 1×USB 2.0;
- operatsioonisüsteem: Windows 7 SP1 64 bit või uuem.

VRcollab on tasuline tarkvara, mida on võimalik 14 päeva tasuta proovida. Tootja pakub aastast litsentsi hinnaga 3000 \$/aastas, kuid kui on soov hankida CAVE lahendusega töötavat süsteemi, siis tuleb uurida arendajalt täpsemalt ([link](#)).

4.2.2. Tarkvara funktsionaalsus

Tarkvara VRcollab funktsionaalsus:

- tarkvaras saab liikuda nii teleporteerudes kui ka lennurežiimis olles;
- lennurežiimi ajal väheneb prillidega nähtav ala, mille eesmärgiks on vähendada iiveldustunde tekkimise riski ([joonis 53](#));
- maketivaade võimaldab ainult ühes suunas vaatlemise funktsiooni, kuvatõmmiste tegemist ning kihtide sisse ja välja lülitamist ([joonis 54](#));
- samas mudelis saab üheaegselt viibida üks inimene VR prillidega ja teine kasutaja arvuti töölaua vaates (kasutades sama arvutit), kusjuures töölaua vaates olija saab jälgida nii VR kasutaja vaadet kui ka ise vabalt mudelis ringi liikuda ([joonis 55](#));
- kuvatõmmiste tegemise funktsiooni kasutust piirab asjaolu, et peale kuvatõmmise tegemist käsk lõppeb ning uue tegemiseks tuleb taas liikuda menüüs kuvatõmmise funktsioonile – tehtud pildid lisanduvad tarkvara teegi *Screenshots* sakile ning on vaadeldavad ka VR keskkonnas ([joonis 56](#));
- tarkvara asendab automaatselt Revitist tulnud inimese, puu ja auto maketid RPC (*Rich Photorealistic Content*) kujudega ([joonised 57 ja 58](#));
- mõõdu võtmiseks saab määrata kaks punkti, kusjuures mõõt jääb objektile püsima ([joonis 59](#));
- VR keskkonnas saab muuta valgusallika (päikese) asukohta, kuid selle kasutamine on ebamugav ja tulemus ei pruugi saavutada soovitud eesmärki ([joonis 60](#));
- objekti valikusse võtmisel kuvatakse kõik sellele määratud parameetrid ([joonis 61](#));
- keskkonda on võimalik joonistada kujundeid ja lisada märkuseid, kuid kasutada saab vaid punast värvi ja ühte joonejämedust ([joonis 62](#));

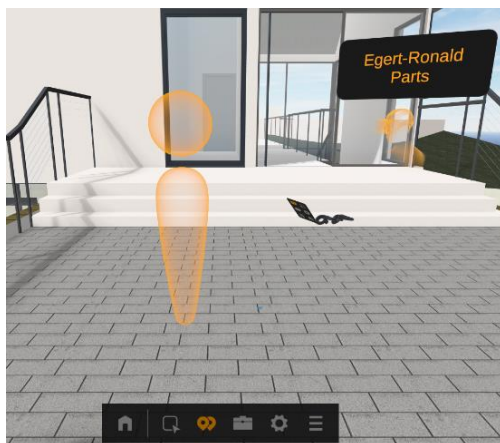
- VR keskkonnas on kommentaari lisamise funktsioon, kus kõne muudetakse tekstiks, kuid katsetamisel see funktsioon ei toiminud ning soovitud teksti asemel sisaldab lisatud kommentaar objekti ID numbrit (joonis 63);
- töölaua vaates saab klaviatuuri abil lisada tekstilisi kommentaare;
- tarkvara võimaldab XRay funktsiooni kasutades muuta terve mudelivaate pooleldi läbipaistvaks (joonis 64) ning kasutades Sketch renderdamise režiimi muuta mudel üleni valgeks;
- vaateava funktsioon teeb konstruktsiooni sisse või sellest läbi vaatamise väga mugavaks (joonis 65);
- teegi abil saab seadistada, millised kihid on sisse lülitatud, pääseda ligi kuvatõmmiste kaustale ning teha Exceli kujul raportit;
- tarkvara poolt automaatselt koostatav raport koosneb vaatluse käigus tehtud kuvatõmmistest, kuid tootja poolt lubatud tekstimärkused sinna ei salvestunud (joonis 66).



Joonis 53. Ahenenud vaade lennurežiimis



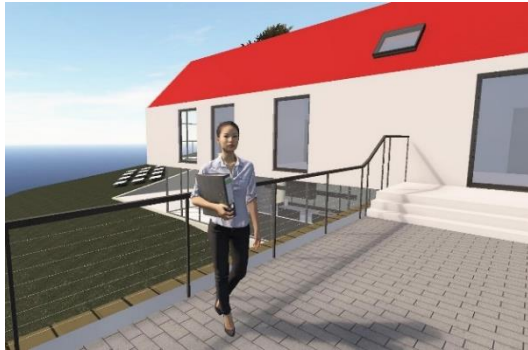
Joonis 54. Maketivaade



Joonis 55. VR prillide ja töölaua kasutaja üheaegne mudelis viibimine



Joonis 56. Kuvatõmmise tegemine VR keskkonnas



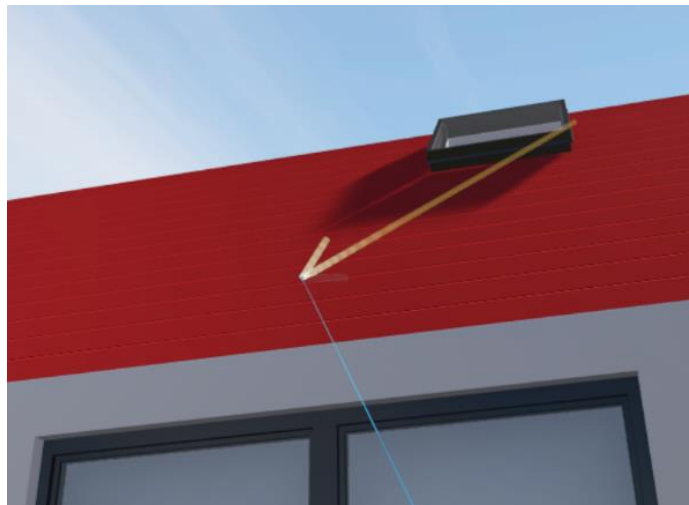
Joonis 57. Inimese fotorealistlik kuvamine



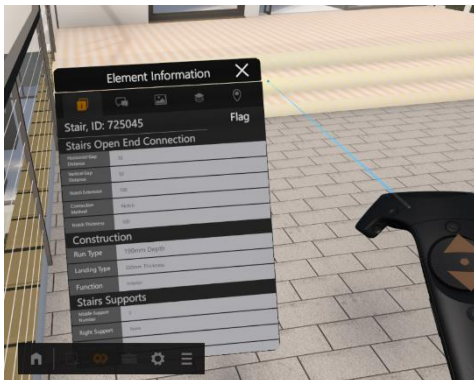
Joonis 58. Puu ja auto fotorealistlik kuvamine



Joonis 59. Mõõdu võtmine VR keskkonnas



Joonis 60. Päikesevalguse asukoha muutmine



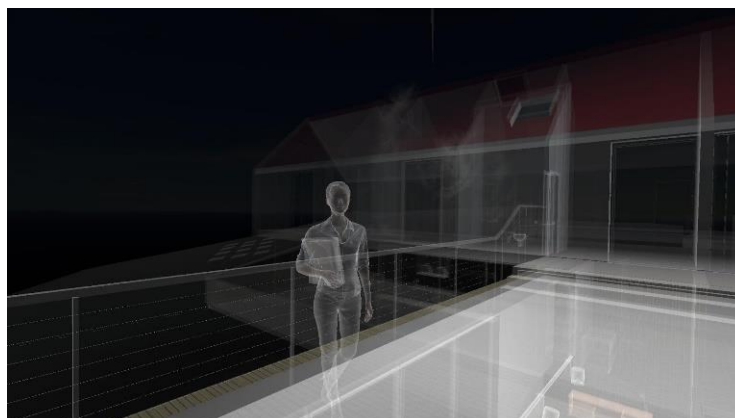
Joonis 61. Valikusse võetud elemendi parameetrite kuvamine



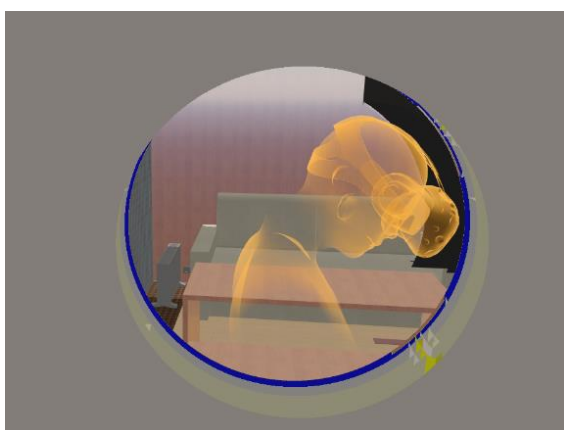
Joonis 62. Märkuse lisamine joonistamise teel




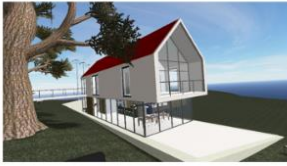
Joonis 63. Kommentaari paiknemise asukohatähis



Joonis 64. Röntgenvaade



Joonis 65. Vaateava tekkimine konstruktsioonidest läbi minemisel või sinna sisse vaatamisel

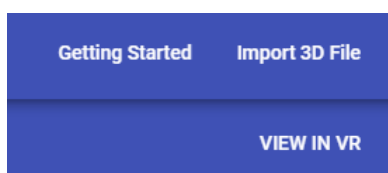
Issue Report		
This report is automatically generated by VRcollab. https://vrcollab.com		
Screenshot	Location	Time
	(0.00, 0.00, 0.00)	20/06/2018 08:55
	(-44.42, 78.67, 2.56)	19/06/2018 01:15

Joonis 66. Raport

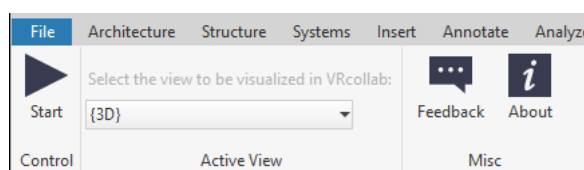
4.2.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse

Mudelit on visualiseerimistarkvaras võimalik käivitada ainult läbi VRcollabi teegi. Mudeli käivitamiseks on vaja teeki *Import 3D File* nupu kaudu (**joonis 67**) laadida .skp või .vrcollab formaadis fail. Peale mudeli teeki laadimist tuleb vajutada nupule *View in VR* ja mudel avaneb VRcollabis.

Tarkvarale Revit on olemas ka spetsiaalne liides ning selle paigaldamisel tekib menüüribale VRcollab alammenüü, mille kaudu saab mudeli viia otse teeki. VRcollabi alammenüüs (**joonis 68**) tuleks esmalt valida *Active View* alt soovitud vaade ning seejärel vajutada *Start* nupule. Järgnevalt töödeldakse mudel VRcollabi jaoks sobivaks ning lisatakse teeki.



Joonis 67. VRcollab teegi vaade

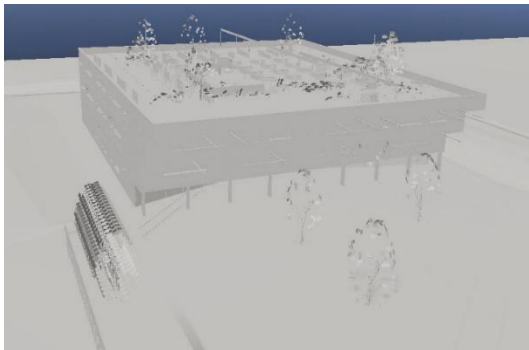


Joonis 68. VRcollab liidese alammenüü Revitis

Reviti näidismaja ja KODA hoone failid olid .rvt formaadis ning nende käivitamiseks kasutati Revitisi olevat VRcollabi liidest.

Viimisi Riigigümnaasium:

1. SketchUp Pro'sse imporditi .ifc ja .skp formaati salvestatud failid (osamudelid, mis olid .pln formaadis, salvestati eelnevalt .skp formaati). Seejärel salvestati üks .skp koondfail, mida püüti laadida VRcollab teeki, kuid peale mõneminutilist laadimisprotsessi tegevus katkes ja VR mudelit teeki ei lisandunud.
2. Teises katses salvestati kõik mudelid ARCHICADi kaudu .skp formaati ning SketchUp Make'i abil tõsteti kokku üheks .skp failiks. Ka selle lähenemise korral toimus peale *Import 3D* nupule vajutamist lühiajaline töötlemine, kuid ka see lõppes ilma positiivse tulemuseta.
3. Kolmandaks toodi .ifc formaadis failid Revitisse ning läbi seal oleva VRcollabi liidese laaditi teeki. VR keskkonnas oli terve mudel (sh tehnosüsteemid) ühtlaselt hall. Lisaks on mudelil osad elemendid puudu või paigast nihkunud. Antud mudel on sellisel kujul küll vaadeldav, kuid sisuliselt kasutamatu (joonised 69 ja 70).



Joonis 69. VRG visualiseering variant 3 korral



Joonis 70. VRG visualiseering variant 3 korral

Kohtumaja:

1. .ifc mudel oli võimalik viia Revitisi oleva liidese kaudu VRcollabi, kuid teegist käivitamine ebaõnnestus.
2. Samuti ei töötanud lahendus, kus ARCHICADi kaudu salvestati .ifc mudel .skp formaati. Sellisel juhul katkes mudeli lisamine VRcollab teeki peale mõneminutilist laadimist.

4.2.4. Kasutuskogemus

Keskkonna visualiseeringu kvaliteet on hea ja selles liikumine mugav. VR keskkonnas olevad tööriistad annavad kasutajale vajaliku info elementide omaduste kohta ning mudelisse on lihtne kommenteerimist ja joonistamist kasutades lisada infot.

Reviti näidismaja (joonised 71 ja 72) visualiseeringus probleeme ei esinenud ja mudelis liikumine oli väga hea. Negatiivse asjaoluna võib mainida, et VR vaatluse käigus lakkasid aegajalt töötamast kõik funktsioonid peale lendamise ja objektide valikusse võtmise ning selle vastu aitas ainult mudeli taasavamine.



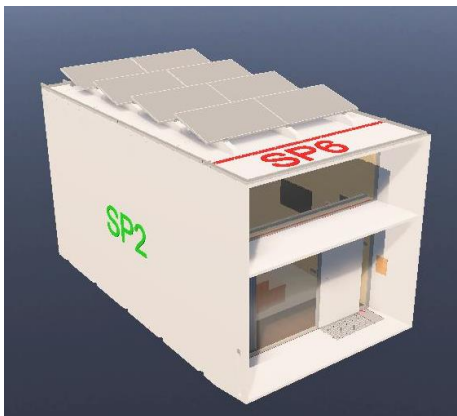
Joonis 71. Reviti näidismaja välisvaade VRcollabis



Joonis 72. Reviti näidismaja sisevaade VRcollabis

KODA (joonised 73 ja 74):

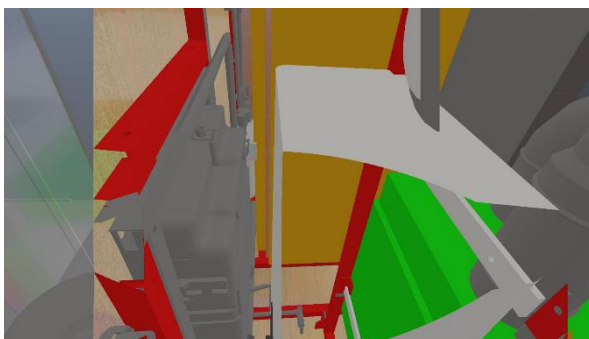
- mudeli visualiseerimine oli tervikuna väga hea ning navigeerimine mugav;
- tänu vaateava võimalusele on konstruktsioonide sisse vaatamine väga mugav ning ülevaatlik (joonis 75);
- esines üksikuid kahe pinna vahelisi plinkimisi;
- materjalide läikeomadus lisas vaatele realistlikkust, kuid seda esines ka materjalidel, mis ei tohiks niimoodi läikida;
- peeglid suudavad peegeldada ümbritsevat keskkonda, kuid teevad seda vigaselt (joonis 76).



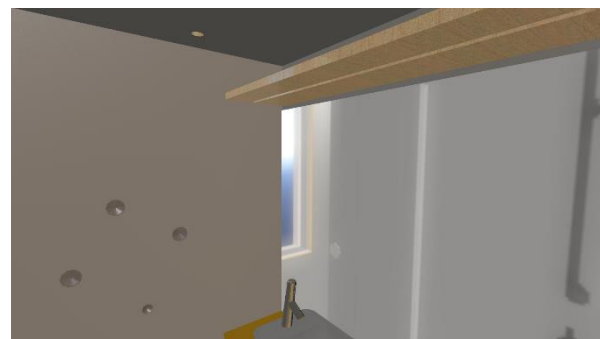
Joonis 73. KODA välisvaade VRcollabis



Joonis 74. KODA sisevaade VRcollabis



Joonis 75. Konstruktsioonide sisse vaatamine vaateava funktsiooniga



Joonis 76. Peegli peegeldus (paremal) ei ole korrektne

Viimisi Riigigümnaasiumi ja Kohtumaja mudelite kasutuskogemust ei saanud hinnata, kuna neist esimesel oli liiga vigane lõpptulemus ja teine ei läinud üldse tööle.

4.2.5. Koondhinnang

Plussid:

- + lennurežiim töötab väga hästi ja seda on mugav kasutada;
- + konstruktsioonide sisse on mugav vaadata ja neist läbi minna, sest tarkvara tekitab pinna sisse vaatamiseks vaateava;
- + automaatse raporti koostamise võimalus;
- + korraga saavad mudelis liikuda nii VR prillide kui ka arvuti töölaua kasutaja;
- + VR keskkonnas on mugav objekte valikusse võtta ning esitatud on kõik elemendile määratud parameetrid;
- + visualiseeringu kvaliteet on hea.

Miinused:

- maketivaates ei ole võimalik mudelit liigutada, suurendada ega pöörata;
- kuvatõmmiste kvaliteet on kehv;
- VR keskkonnas puudub funktsioon, mis võimaldaks puldi abil vaatesuunda pöörata;
- tarkvarasse ei ole võimalik üles laadida mahukat .skp faili;
- VR vaatluse käigus lakkavad aegajalt töötamast kõik funktsioonid peale lendamise ja objektide valikusse võtmise;
- kõnest teksti tegemise funktsioon kommentaari lisamisel ei tööta;
- *multiuser* funktsiooni ei saanud testimisel tööle, kuigi tootja sõnul on see võimalik;
- .ifc failidest koosneva mudeli kõik elemendid on halli värvi ning osad on puudu või paigast nihkunud;
- tootja kodulehel olev info on aegunud ja kohati ebapiisav;
- tarkvaraarendaja kodulehel puudub info, kuidas valmistada .vrcollab formaati ja milleks seda saab kasutada.

4.3. Enscape 2.2.3

4.3.1. Tarkvara lühikirjeldus

Enscape ([link](#)) on tänu reaajas renderdamisele väga hea visualiseerimise kvaliteediga tarkvara. Liides on olemas tarkvaradele Autodesk Revit, Trimble SketchUp ja Rhinoceros, mis võimaldab mudelit visualiseerida lihtsalt ja kiirelt. Tänu liidesele on projekteerimistarkvaras võimalik mudelit vaatlemisega samaaegselt muuta.

Tarkvara põhiohk on suunatud keskkonna visualiseerimise kvaliteedile ning selles keskkonnas liikumisele. Enscape võimaldab visualiseeritud mudelit hõlpsalt jagada võimaldades liidese kaudu luua mudeli visualiseeringust eraldiseisvat .exe faili ([link](#)).

Enscape'i funktsionaalsus VR keskkonnas on väiksem, kui teistel uuringus vaadeldavatel tarkvaradel – nagu ka teistel visualiseerimistarkvaradel on võimalik liikuda nii kõnni- kui ka lennurežiimis, kuid lisaks sellele on võimalik muuta vaid kellaaega ning analüüsida tekkivaid varje. Lisaks on kasutades Enscape liidest Revitis või SketchUpis võimalik visualiseeringut eelnevalt seadistada (valguse värvust, eredust, kontrasti).

Tarkvara väljatöötaja soovib kasutada arvutit, mille graafikakaardiks on Nvidia GTX1070 8GB või parem ([link](#)).

Enscape on tasuline tarkvara, mida on võimalik tasuta proovida 14 päeva. Peale prooviperioodi lõppemist on võimalik valida Enscape'i kuupõhise (hinnaga 45 \$/kuus) või aastase lahenduse vahel, mille puhul pakutakse kohapõhist litsentsi hinnaga 449 \$/aastas või liikuvat hinnaga 679 \$/aastas ([link](#)).

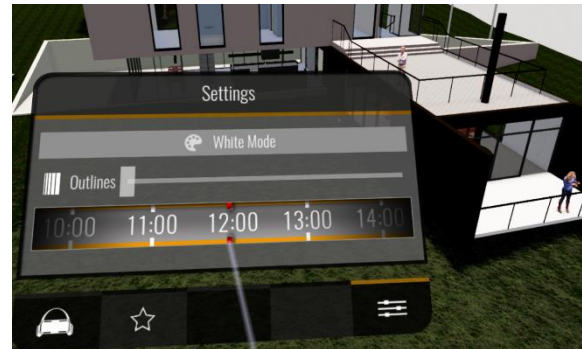
4.3.2. Tarkvara funktsionaalsus

Tarkvara Enscape funktsionaalsus:

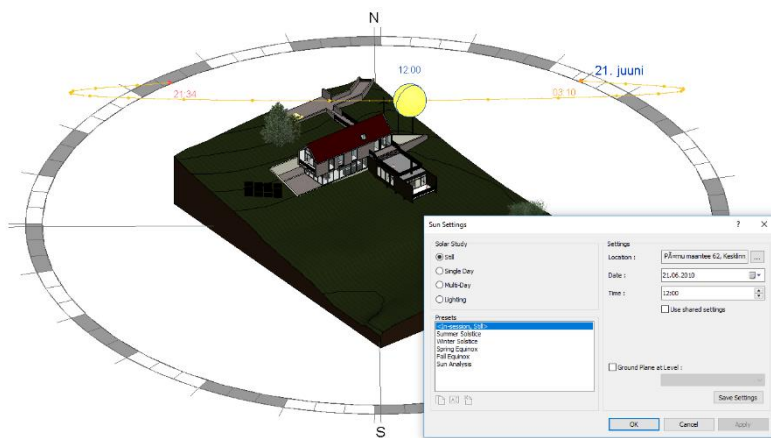
- tarkvara võimaldab teleporteerumise, kõndimise ja lendamise liikumisviise ning seda nii määratud piirkonnas ehk *roomscale* kui ka ühe asukoha põhiselt ehk *seated* ([joonis 77](#));
- kõndimise režiim võimaldab liikuda läbi uste, aga mitte läbi teiste pindade ning trepist kõndimine tundub loomulik;
- mudelis saab navigeerida ka töölaua vaates olles;
- kellaaaja muutmine on võimalik, kuid puudub võimalus määrata kindlat kuupäeva ([joonis 78](#));
- Enscape'i saab kasutada koos Reviti *Solar Study* tööriistaga – seadistades Revitis hoone asendi, kuupäeva ja kellaaaja muutub päikese asend vastavalt seadistusele ([joonis 79](#));
- inimeste ning puude mudelid on asendatud RPC (*Rich Photorealistic Content*) mudelitega ([joonis 80](#));
- hämaras hakkab valgustus automaatselt põlema ([joonis 81](#));
- muru on kuvatud reljeefsena ([joonis 82](#));
- modelleerimistarkvarades Revit ja SketchUp saab funktsiooni *Live Updates* abil teha muudatusi (nt elementide asendamine, muutmine, peitmine, lisamine), mis mõne hetkega kajastuvad ka visualiseerimiskeskkonnas ([joonis 83](#));
- projekteerimistarkvarast on Enscape'i liidese abil võimalik eksportida eraldiseisev .exe fail, mille hilisemaks avamiseks ei ole enam projekteerimistarkvara vaja ([joonis 84](#));
- renderduse kvaliteeti saab seadistada *Settings* nupult ([joonis 85](#)).



Joonis 77. Liikumisrežiimi valimine



Joonis 78. Kellaaja valimine



Joonis 79. Reviti Solar Study tööriist



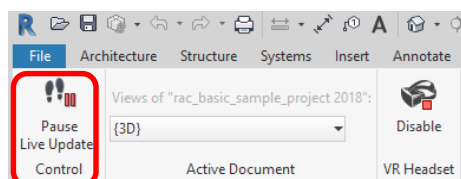
Joonis 80. Inimese fotorealistik kuvamine



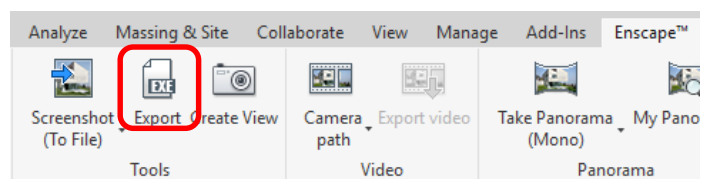
Joonis 81. Valgustus hakkab hämaras automaatselt põlema



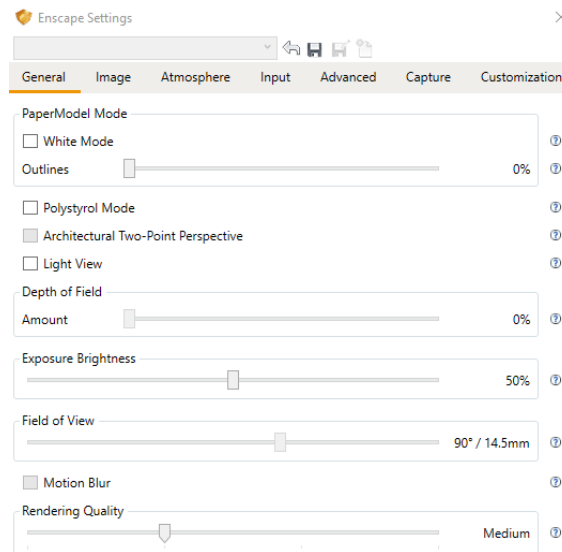
Joonis 82. Muru on kuvatud reljeefsena



Joonis 83. Projekteerimistarkvaras tehtud muudatuste ülekandmine visualiseerimistarkvarasse



Joonis 84. .exe faili eksportimine projekteerimistarkvaras paiknevast Enscape liidesest



Joonis 85. Enscape'i tarkvaras olev seadistuste paneel

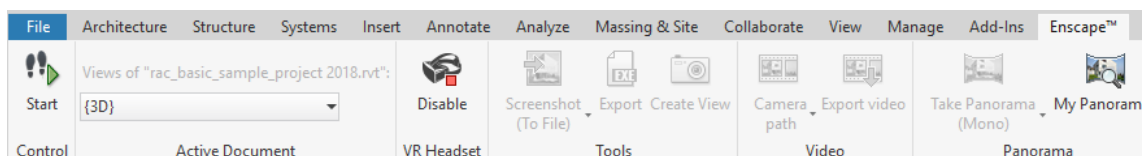
4.3.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse

Tarkvarades Revit, SketchUp ja Rhinoceros saab mudelit käivitada liidese abil.

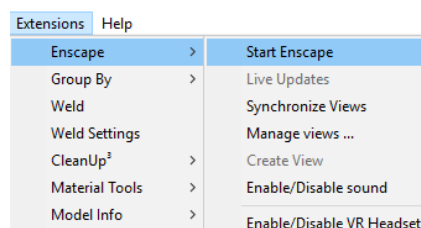
Reviti puhul tuleb mudeli käivitamiseks valida sobiv 3D vaade ja vajutada *Controls* tööriistariba osas olevale *Start* nupule, misjärel hakkab tarkvara mudelit Enscape'i keskkonda viima (joonis 86). Selleks, et VR prillid tööle hakkaksid, tuleb vajutada *VR Headset* alammenüüst nupule *Enable* (kui see on juba sees, siis kuvatakse sõna *Disable*).

Sketchupis saab Enscape'i käivitada *Extensions* tööriistaribalt *Start Enscape* nupule vajutades (joonis 87).

Mudeli töötlemisaja pikkus sõltub mudeli keerukusest ja formaadist jäädes uuringus kasutataud mudelite puhul vahemikku mõnest minutist kuni poole tunnini (Reviti kaudu on mudeli visualiseerimine enamasti kiirem kui SketchUpi kaudu).



Joonis 86. Enscape liides Revitis



Joonis 87. Enscape käivitamine extensions tööriistaribalt SketchUpis

Reviti näidismaja ja KODA mudelid on .rvt formaadis ja nende Enscape'i viimiseks kasutati Revitis olevat liidest.

VRG puhul katsetati kahte varianti, millest esimene toimis mõnevõrra paremini:

1. .pln failid salvestati ARCHICADis .skp formaati ja .ifc failid imporditi SketchUp Prosse, misjärel salvestati kõik üheks .skp mudeliks. Seejärel kasutati visualiseeringu käivitamiseks SketchUpis olevat Enscape'i liidest (joonised 88 ja 89).
2. Kõik osamudelid viidi .ifc formaati ja seejärel Revitisse ning siis käivitati visualiseering Enscape'i liidest (joonised 90 ja 91).



Joonis 88. VRG välisvaade, kus mudel on viidud Enscape'i SketchUpi kaudu (variant 1)



Joonis 89. VRG sisevaade, kus mudel on viidud Enscape'i SketchUpi kaudu (variant 1)

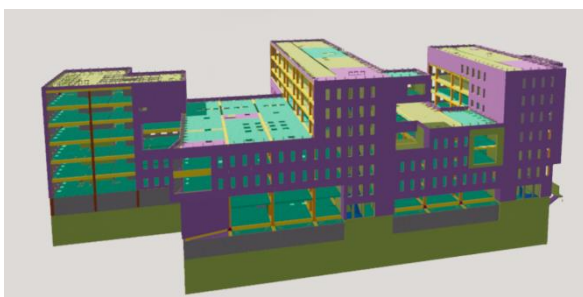


Joonis 90. VRG välisvaade, kus mudel on viidud Enscape'i Reviti kaudu (variant 2)

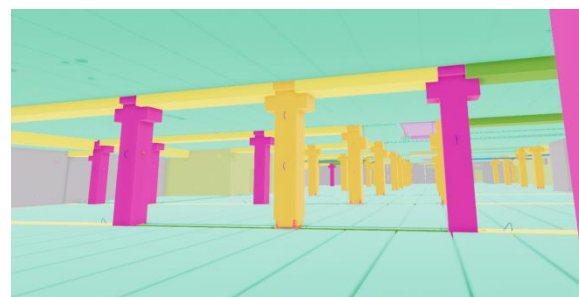


Joonis 91. VRG sisevaade, kus mudel on viidud Enscape'i Reviti kaudu (variant 2)

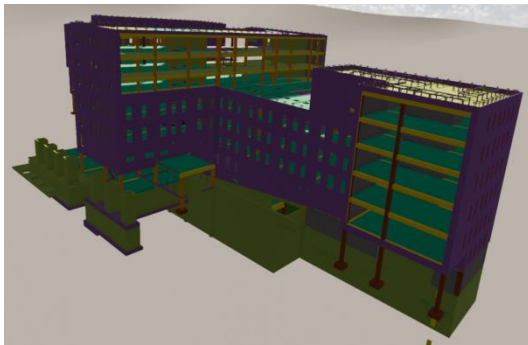
Kuna Kohtumaja mudel oli .ifc formaadis, siis kasutati samuti mõlemat eelkirjeldatud meetodit. Tulemused on esitatud joonistel 92...95.



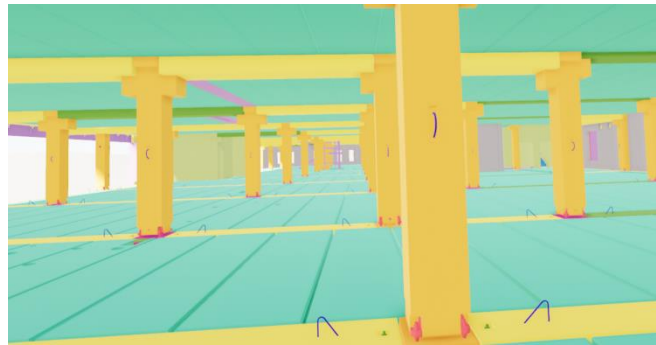
Joonis 92. Kohtumaja välisvaade, kus mudel on viidud Enscape'i SketchUpi kaudu (variant 1)



Joonis 93. Kohtumaja sisevaade, kus mudel on viidud Enscape'i SketchUpi kaudu (variant 1)



Joonis 94. Kohtumaja välisvaade, kus mudel on viidud Enscape'i Reviti kaudu (variant 2)



Joonis 95. Kohtumaja sisevaade, kus mudel on viidud Enscape'i Reviti kaudu (variant 2)

4.3.4. Kasutuskogemus

Enscape'i kõige tugevamaks küljeks on see, et vaadeldav mudel ja selle üksikud elemendid näevad välja suhteliselt tõetruud (joonis 96). Tarkvarapoolsed seadistused mudeli materjalide välimusele, realistlik valgus ning fotorealistlikud inimesed ja puud muudavad keskkonnas viibimise meeldivaks kogemuseks.

Keskkonnas liikumisel probleeme ei esine ja liikumispääsmeid ei ole. Keskkonna kuvamise ja selles liikumise võimaldamisega saab tarkvara väga hästi hakkama. Samuti on VR keskkonnas vaadeldavat mudelit võimalik reaalajas projekteerimistarkvara abil muuta. Kui Sketchupi mudel on väga mahukas ja seetõttu Sketchup aeglane, siis on ka *Live Linki* kasutamine aeglane.

Renderdamise kvaliteeti saab seadistada *Settings* nupult. *Medium* ja *High* sätteid on mugavaks vaatlemiseks soovitatav kasutada lihtsamate mudelite puhul. *Draft* ja *Medium* sätteid sobivad paremini keerukamatele mudelitele. Nupu *Settings* alt saab muuta ka mitmeid teisi seadistusi, mis mõjutavad keskkonna kvaliteeti ja kuvamise viisi.



Joonis 96. Tõetruu visualiseering Viimsi Riigigümnaasiumi mudelis

Reviti näidismaja (joonised 97 ja 98):

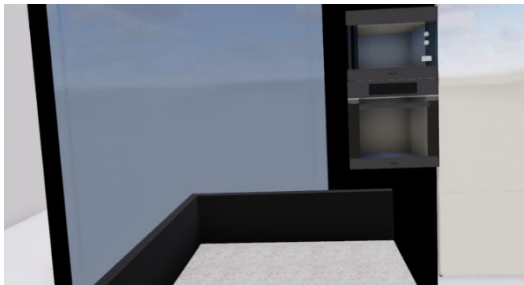
- mudeli vaatlemine oli väga sujuv ja hea;
- osadel sisepindadel peegeldus taevas, mis kohati oli ebakorrektn (joonis 99);
- osad pinnad plinkisid (joonis 100);
- autol on tekstuur, mis paljudes teistes tarkvarades ei kajastunud (joonis 101).



Joonis 97. Reviti näidismaja välisvaade Enscape'is



Joonis 98. Reviti näidismaja sisevaade Enscape'is



Joonis 99. Elemendi pinnalt peegelduv taevas



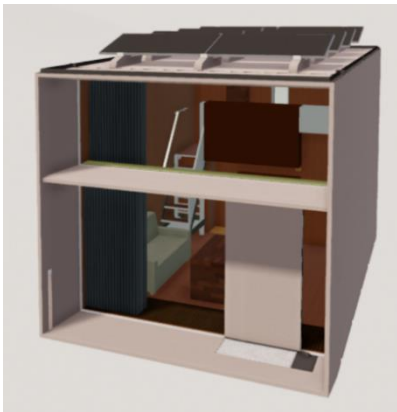
Joonis 100. Pindade plinkimine



Joonis 101. Autol on tekstuur

KODA (joonised 102 ja 103):

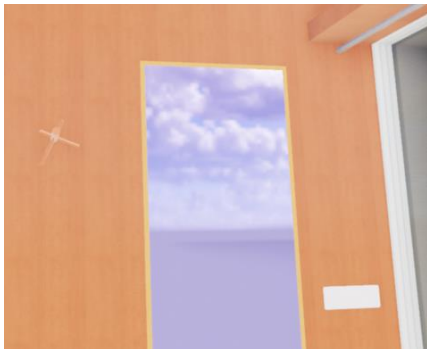
- paljudel teistel visualiseerimistarkvaradel esinenud muutused veemõõdusõlme elementide geometrias käesoleval juhul ei esinenud;
- peegelpinnad ei suuda peegeldada tegelikku keskkonda ning kuvavad enamasti taevast (joonis 104);
- erinevate osamudelite kattuvad elemendid tekitavad pinnavirvendust, kusjuures konstruktsioone sisaldav osamudel lülitati seetõttu välja (joonised 105 ja 106);
- renderdamise kõrgeim kvaliteet põhjustab keskkonna vaatlemisel visuaalseid defekte (joonis 107).



Joonis 102. KODA välisvaade Enscape'is



Joonis 103. KODA sisevaade Enscape'is



Joonis 104. Peegel ei suuda peegeldada ümbritsevat keskkonda korrektselt



Joonis 105. Osamudelite kattumisest tekkinud pinnavirvendus, kui konstruktsioonide osamudel oli sisse lülitatud



Joonis 106. Plinkivad pistikupesad



Joonis 107. Renderdamise ultrakvaliteedi korral tekitavad pindadele üleliigsete varjude ja säbrulise pinna näol defektid (mõju avaldub kiiretel liigutustel)

Viimsi Riigigümaasium:

- mõlemad visualiseeringud olid vaadeldavad ilma, et oleks tekkinud enesetunde halvenemist (joonised 108 ja 109);
- SketchUpi kaudu tehtud visualiseering:
 - elementide asukoht ja geometria ning nende materjalid ja tekstuurid on korrektselt kuvatud;
 - osad torude põlved olid muutunud läbipaistvaks (joonis 110);
 - esines üksikute pindade plinkimist;
- Reviti kaudu tehtud visualiseering:
 - osad torude põlved olid muutnud värvi (joonis 111);
 - II korruse vahelaest puudub trepikoja ava, mis on tõenäoliselt tingitud vigasest .ifc mudelist (joonis 112);
 - söökla laudade plaadid on läbipaistvad (joonis 113).



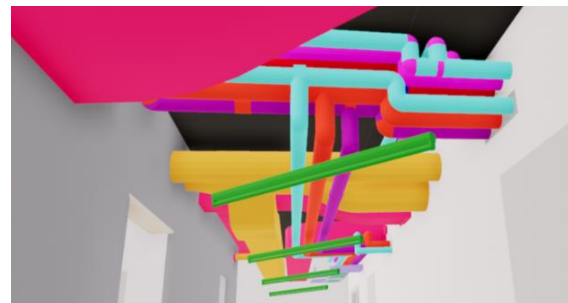
Joonis 108. VRG klassiruum, kus mudel on viidud Enscape'i SketchUpi kaudu



Joonis 109. VRG klassiruum, kus mudel on viidud Enscape'i Reviti kaudu



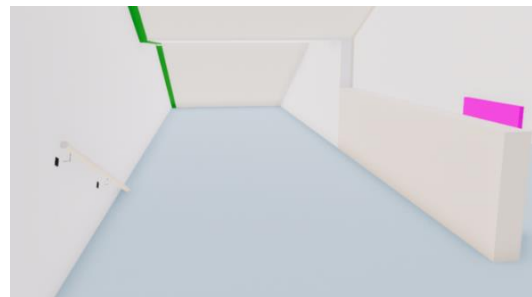
Joonis 110. Tehnosüsteemid VRG koridoris, kus mudel on viidud Enscape'i SketchUpi kaudu – osad torupõlved on puudu



Joonis 111. Tehnosüsteemid VRG koridoris, kus mudel on viidud Enscape'i Reviti kaudu – osad torupõlved on vahetanud värvi



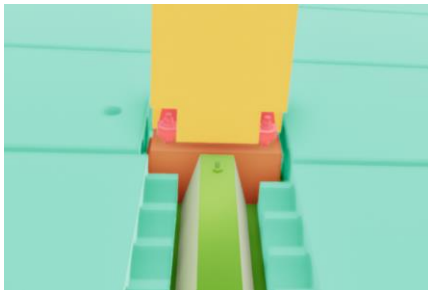
Joonis 112. VRG söökla, kus mudel on viidud Enscape'i Reviti kaudu – osad lauaplaadid on läbipaistvad



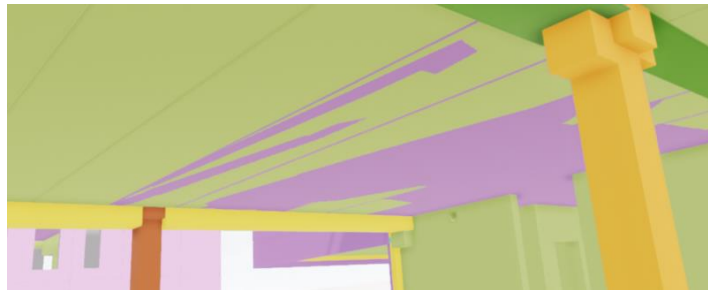
Joonis 113. VRG trepikoda, kus puudub vahelaest ava (mudel on viidud Enscape'i Reviti kaudu)

Kohtumaja:

- mudeli elementide geomeetria ja paigutuse osas ei esinenud ebakõlasid kummagi visualiseeringu korral (joonis 114);
- SketchUpi kaudu tehtud visualiseering:
 - mõned õõnespaneelid plinkisid (joonis 115);
 - kasutamise vältel oli tunda, et kaadrisagedus ei ole ideaalne, kuid vaatlust see märgatavalt ei seganud;
- Reviti kaudu tehtud visualiseering:
 - esines pildi moonutusi, kus osa elemendist nihkus hetkeks (SketchUpi puhul seda ei esinenud);
 - visualiseering oli enesetundele ebameeldivam, kui SketchUpi variant, kuna kaadrisagedus oli madalam;
 - mudelit on võimalik vaadelda vaid lühiajaliselt.



Joonis 114. Korrekselt kuvatud sõlm



Joonis 115. Plinkivad elemendid SketchUpiga tehtud visualiseeringus

4.3.5. Koondhinnang

Plussid:

- + muudatuste tegemine modelleerimiskeskonnas kajastub kohe ka VR keskkonnas, kuid on mugavalt kasutatav ainult väiksema mahuga mudelite korral;
- + väga hea renderdamise kvaliteet;
- + lendamise ja kõndimise režiim on mugav ja lihtne kasutada ning need toimivad väga hästi;
- + inimeste ja puude maketid on automaatselt asendatud tõetruude RPC (*Rich Photorealistic Content*) kujudega;
- + kõik olemasolevad funktsioonid töötavad väga hästi;
- + võimalus salvestada mudelist eraldiseisev .exe fail;
- + .ifc failide korral esines vaid üksikuid probleeme elementide kuvamisel (nt torupõlvede värvid olid muutunud);
- + renderdamise kvaliteeti saab muuta, mis aitab vältida enesetunde halvenemist ka suuremate mudelite vaatlemisel.

Miinused:

- vaate pööramine juhtpuldil abil on ebamugav;
- VR keskkonnas võiks olla ka kuvatõmmise tegemise võimalus nagu on töölaua vaates;
- VR keskkonna pildikvaliteet on halvem, kui töölaua ekraanipildil;
- puudub võimalus võtta elemente valikusse ning vaadelda nende parameetreid;
- VR keskkonnas ei ole võimalik mudeli kihte välja lülitada, kuid seda saab teha modelleerimistarkvara kaudu;
- ei sobi konstruktsioonide sisse vaatamiseks, kuna kuvatav pilt ei ole selge.

4.4. Autodesk Revit Live 2.1.781

4.4.1. Tarkvara lühikirjeldus

Autodesk Revit Live ([link](#)) on on Autodeski visualiseerimistarkvara, mida on võimalik hankida ainult ühes tarkvarapaketiga Architecture, Engineering & Construction Collection. Autodeski kodulehel on tarkvara nimi Revit Live, kuid peale paigaldamist on selle nimeks Autodesk Live (edaspidi kasutatakse siiski nimetust Revit Live). Tarkvara võimaldab arvuti vaates näha mudeli BIM infot, seadistada kuupäeva ja kellaaega ning lülitada tööle tulesid. VR vaates on tarkvara funktsionaalsus märksa väiksem, ringi saab liikuda vaid teleporteerudes ning VR keskkonna funktsionaalsusena on võimalik kontrollida pindade vahekauguseid. Mudeli visualiseeringuid saab Revit Live tarkvara kaudu salvestada .exe formaati.

Minimaalsed ja soovitatavad nõuded arvuti riistvarale on lühidalt kirjeldatud tabelis 10.

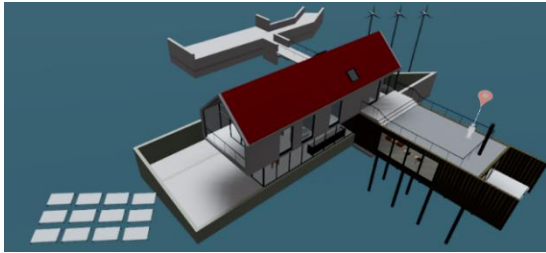
Tabel 10. Minimaalsed nõuded arvuti riistvarale [23]

Näitaja	Minimaalsed nõuded	Soovitatavad nõuded
Graafikakaart	Graafikakaart, mis toetab DirectX 11 ja Shader Model 3	NVIDIA GTX 1080
Protsessor	Multi-Core Intel Xeon i-seeria protsessor (või AMD analoog)	Intel Core i7-6700K
Muutmälu	4 GB RAM	
Kõvaketta vaba maht	5 GB	
Operatsioonisüsteem	Windows 7 SP1 64-bit või uuem, Windows 8.1 või Windows 10	

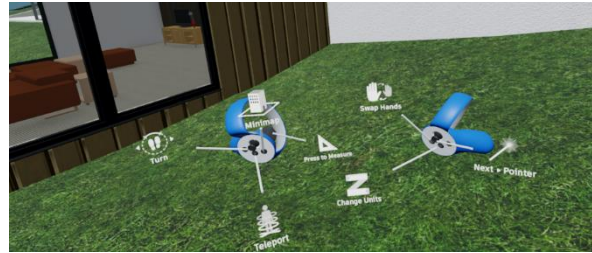
4.4.2. Tarkvara funktsionaalsus

Tarkvara Revit Live funktsionaalsus:

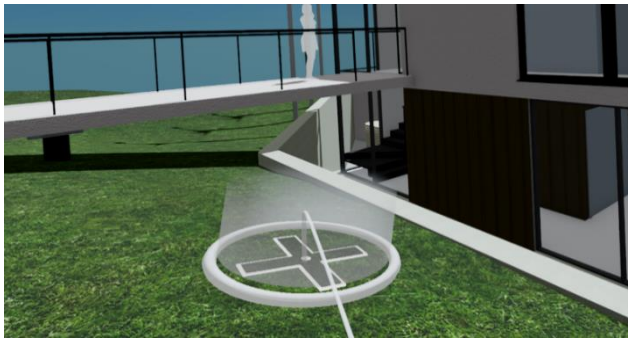
- maketivaates on võimalik mudelit keerata ning muuta selle mõõtkava (joonis 116);
- pultide kõrvale kuvatakse nuppude funktsioonid (joonis 117);
- tarkvara võimaldab mudelis liikumiseks kasutada vaid teleporteerumist (joonis 118);
- kui teleporteeruda ukse lähedale, siis eemaldub uks avatäitest automaatselt, mis teeb mudelis liikumise palju mugavamaks (joonis 119);
- tarkvara võimaldab mõõta vaid kahe tasapinna vahelisi kauguseid ning ei võimalda mõõta vahemaid kahe suvalise punkti vahel (joonis 120);
- inimeste maketid on asendatud lävipaistvate animeeritud kujutistega, mis on valge või musta tooniga (joonis 121);
- Reviti puumaketid on asendatud realistlike animeeritud puudega (joonis 122);
- paljud funktsioonid on saadaval ainult töölaua vaates (joonis 123) – näiteks kellaaaja ja kuupäeva seadistamine (ei toimi reaalaajas, vaid vajab eelnevat seadistust), mudeli elementide parameetrite vaatamine ja ruumi valguse töötamise seadistamine (töötab ainult töölaua vaates ja VR mudelisse üle ei kandu).



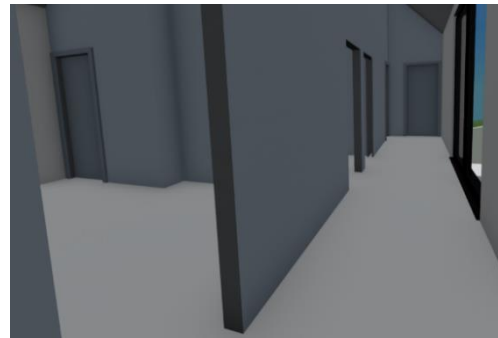
Joonis 116. Maketivaade



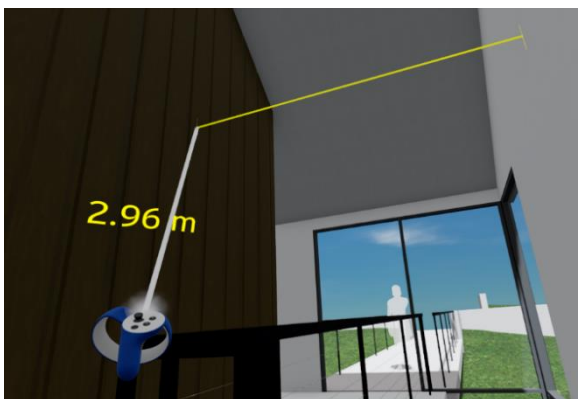
Joonis 117. Juhtpultide funktsioonide kuvamine



Joonis 118. Teleporteerumise sihtkoht



Joonis 119. Uksel liginedes eemaldub see automaatselt



Joonis 120. Kahe tasapinna vahelise kauguse mõõtmine



Joonis 121. Inimese kujutis on läbipaistev



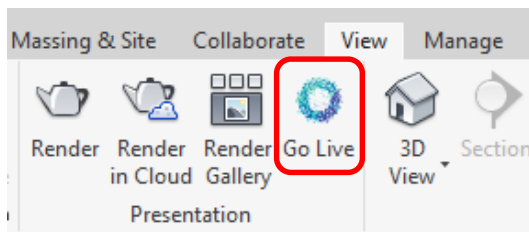
Joonis 122. Realistlik ja animeeritud puu



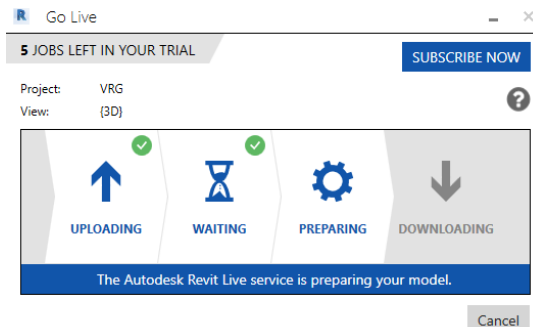
Joonis 123. Revit Live töölaua kuvatõmmis

4.4.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse

Mudeli viimiseks Revit Live tarkvarasse tuleb kasutada Revit's *View* sakil olevat *Go Live* liidest. Eelnevalt peab olema mudel Reviti 3D vaates vastavalt seadistatud (*Detail level* → *Fine* ja *Visual style* → *Realistic* või *Ray trace*). Peale salvestamist tuleb vajutada *Go Live* nupule (joonis 124). Mudeli töötlemine toimub pilvekeskkonnas täielikult automaatselt – esmalt laetakse mudel pilve, seejärel töödeldakse sobivaks ning siis laetakse alla (joonis 125).



Joonis 124. *Go Live* nupp tööriistaribal



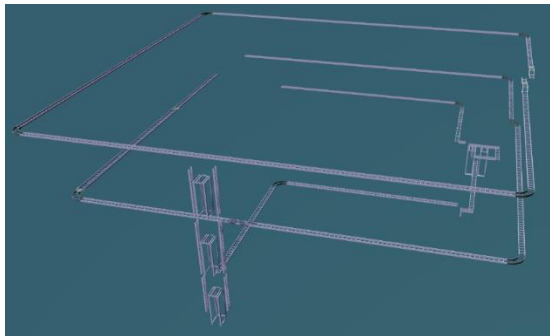
Joonis 125. Mudeli töötlemine pilves

Peale üleslaadimist võib tekkida olukord, kus mudeli töötlemine läheb ootejärjekorda, näiteks Viimsi Riigigümnaasium oli ootejärjekorras kolmas ning oodata tuli orienteeruvalt 20 minutit. Kui mudel on valmis, siis saab selle käivitada arvutis oleva Revit Live tarkvaraga, allalaetud mudel on formaadis .lvs. Autodesk Live'is on menüüribal nupp *Publish*, mis võimaldab visualiseeringut salvestada .exe formaati. Mudelid õnnestus küll salvestada .exe failiks, kuid antud failide tööle panemisel mudelite kuvamine ebaõnnestus (visualiseerimistarkvara sulgus koheselt).

Reviti näidismaja ja KODA puhul on juba tegemist .rvt formaadiga, seega mudeli viimine Reviti Live'is toimub eespool mainitud kirjelduse järgi kasutades *Go Live* liidest. KODA moodulmaja puhul eemaldati plinkimise vältimiseks konstruktiivne mudel (esines kattuvaid osamudelite kihte).

Viimsi Riigigümnaasiumi korral prooviti kahte varianti:

1. Aluseks võeti kõik osamudelid, mis olid .ifc formaadis. Esmalt laeti Revitisse üks osamudel, mis salvestati .rvt formaati ja ülejäänud osamudelid lingiti Revitisse. Seejärel käivitati *Go Live* liides. Selle protsessi tulemusena jõudis VR keskkonda vaid see osamudel, mis oli esimesena .rvt formaadis ja teised osamudelid läksid visualiseerimise käigus kaduma (joonis 126).
2. Mudeli üleviimine toimib siis, kui kõik osamudelid salvestada eelnevalt .rvt formaati ja alles siis linkida need ühte Reviti mudelisse. Valmis mudeli *Live Go* nupule vajutamisest kuni mudeli avanemiseni visualiseerimistarkvaras kulus ligikaudu poolteist tundi, millest enamik kulus mudeli töötlemisele pilvekeskkonnas ning veerand tundi allalaetud mudeli käivitumisele. Lisaks andis tarkvara allalaadimise lõpus veateate, kuid sellest hoolimata läks mudel tööle (joonis 127). Vaatamata sellele esines visualiseeritavas mudelis olulisi puudujääke, mida on kirjeldatud järgnevas peatükis.



Joonis 126. VRG visualiseering ebaõnnestunud protsessi korral (variant 1)



Joonis 127. VRG visualiseering õnnestunud üleviimise protsessi korral, kuid mis sisaldas märkimisväärseid puuduseid (variant 2)

Kohtumaja .ifc mudel salvestati .rvt formaati ja *Go Live* liidese kaudu laeti see pilvekeskkonda töötlemiseks. Mudeli töötlemisajaks kujunes ligikaudu 6 tundi mille järel kuvati veateade. Lõpptulemusena mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse ebaõnnestus.

4.4.4. Kasutuskogemus

Tarkvara poolt tekitatud visualiseering näeb välja usutav – keskkonna pindade värvid, muustrid ja tekstuurid on piisavalt head. Animeeritud inimesed ja puud tagavad hea keskkonna tunnetamise. Visualiseerimiskeskkonna üldine valgustase võiks olla võimalusel veelgi heledam, sest praegu tundub üldine foon ka kõige valgemaal päeval suhteliselt süng. Teleporteerumise liikumisviis ei ole piisav, et saaks mudelit vaadelda kõikidest soovitud asukohtadest (kõikidele tasapindadele ei ole võimalik liikuda). Samuti ei ole võimalik liikuda läbi seina, välja arvatud kasutades *Roomscale*'i, mille korral tuleb läbi seina astuda. Häirivaks probleemiks on vertikaalsuunalise liikumisvõimaluse puudumine.

Reviti näidismaja (**joonised 128 ja 129**):

- puudub võimalus katusele teleporteerumiseks;
- animeeritud inimesed ja puud muudavad VR kogemuse paremaks;
- esines üksikute pindade plinkimist;
- keskkonnas liikumine ei tekitanud ebaameeldivustunnet.



Joonis 128. Reviti näidismaja välisvaade Revit Live'is



Joonis 129. Reviti näidismaja sisevaade Revit Live'is

KODA (joonised 130 ja 131):

- visualiseeringu üldkvaliteet on rahuldav ning keskkonnas viibimine ei avalda negatiivset mõju enesetundele;
- tarkvara liikumisvõimalused hoones olid piiratud, mistõttu ei ole mudel piisavalt vaadeldav;
- puudus võimalus teleporteeruda elutoa trepile, teisele korrusele ning vannituppa;
- teleporteerumine on väga piiratud kitsastes ruumiosades;
- peegel suudab osaliselt peegeldada ümbritsevat keskkonda.



Joonis 130. KODA välisvaade Revit Live'is



Joonis 131. KODA sisevaade Revit Live'is

Viimsi Riigigümnaasium:

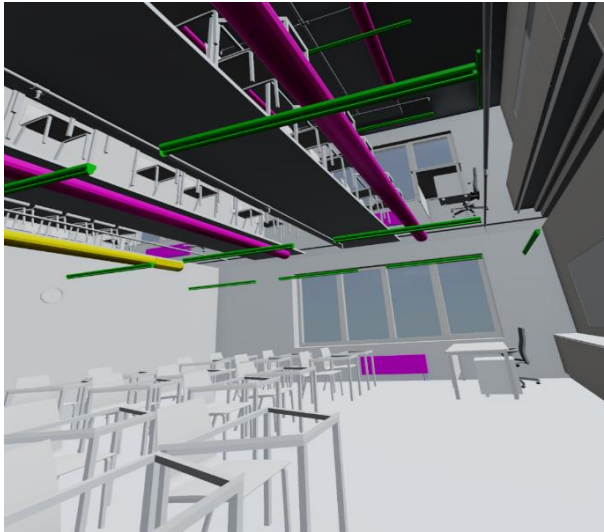
- tarkvaras on võimalik seadistada mudeli graafika kvaliteeti (joonised 132 ja 133);
- üldjuhul hakkab seadistuse *Appearance*'i korral visualiseering „hakkima“, sest arvuti ei jõua seda piisavalt renderdada ning kasutuskogemus on äärmiselt ebamugav (eelistada tuleks *Performance* seadistust);
- mitmed pinnad on muutunud läbipaistvaks ja osad elemendid on mudelist kaduma läinud (joonised 134...137);
- kuna visualiseerimistarkvara on ära kaotanud mudeli põrandaelemendid, siis on antud mudelis liikumine muutunud väga keerukaks;
- mudelis tundub väga hämar ja pime, isegi kui tegemist on suvise pööripäeva ja keskpäevaga (joonised 135 ja 136).



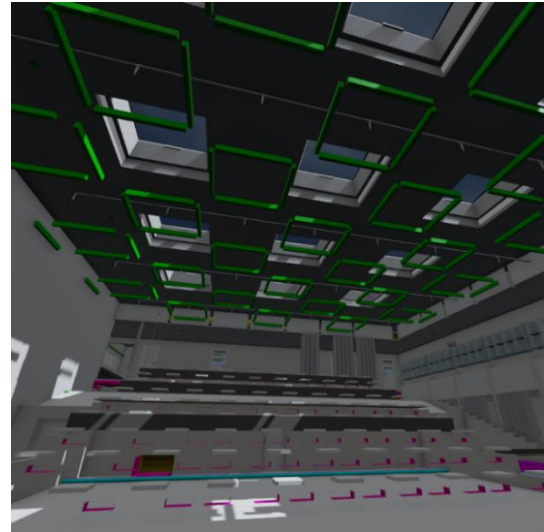
Joonis 132. VRG maketivaade *Appearance* seadistusega



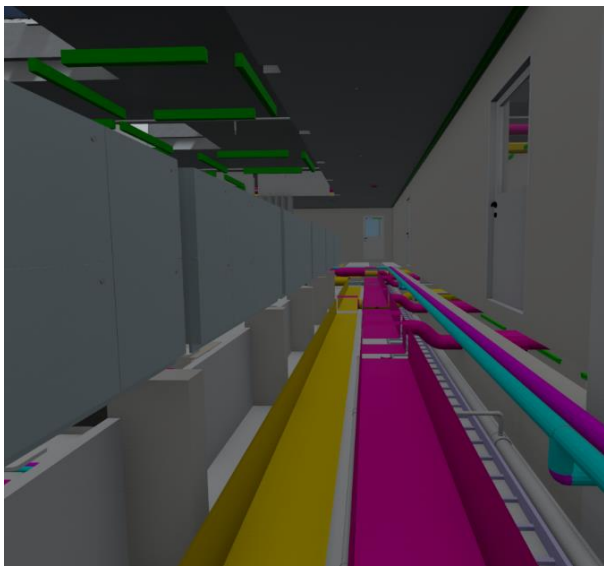
Joonis 133. VRG maketivaade *Performance* seadistusega



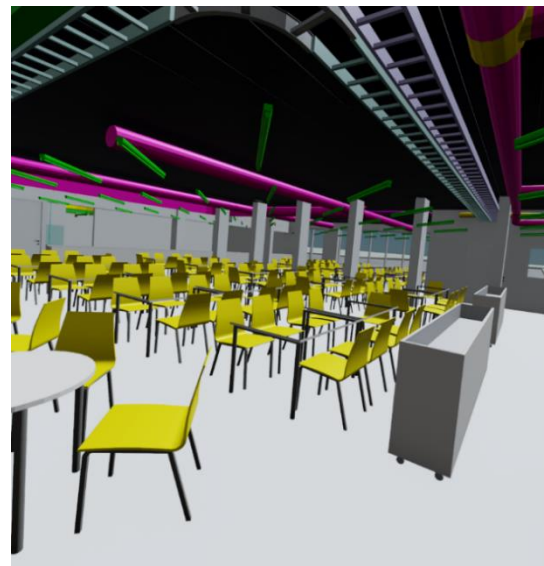
Joonis 134. Visualiseeringus puudub vahelagi ning osad pinnad (lauad) on muutunud läbipaistvaks



Joonis 135. Vaates puuduvad osad laeelementid, istekohad ning mitmed elemendid on muutunud läbipaistvaks



Joonis 136. Koridoris puuduvad põrand ja tehnosüsteemid



Joonis 137. Sööklas on lauaplaadid muutunud läbipaistvaks

Kohtumaja kasutuskogemuse hinnang puudub, sest tarkvara ei suutnud mudelit valmis töödelda. Kui arvestada VRG kogemust ning mudeli suurt mahtu, siis visualiseerimisprotsessi õnnestumise korral oleks suure tõenäosusega lõpptulemus olnud praktiliselt kasutuskõlbmatu.

4.4.5. Koondhinnang

Plussid:

- + tuleb tasuta kaasa Autodeski tarkvarapaketi *Architecture, Engineering & Construction Collection*;
- + visualiseerimise kvaliteet on tänu tekstuuridele, inimeste ning taimedele kujutistele piisavalt hea;
- + ukсед kaovad vaatest, kui nende ligidale teleporteeruda;
- + funktsioonid, mis on VR osas, töötavad hästi.

Miinused:

- ei ole võimalik liikuda lennurežiimis ning ligipääs paljudesse kohtadesse oli võimatu;
- ei ole võimalik läbi pindade liikuda;
- keskkond on hämar isegi kõige valgemaal päeval;
- mudeli töötlemise protsess võib olla väga pikk ning lõppeda ka ebaõnnestumisega;
- minimaalne funktsionaalsus VR keskkonnas (arvuti vaates olev funktsionaalsus võiks olla ka VR keskkonnas);
- .ifc formaadist tulnud mudelite elementide pinnad muutuvad osaliselt läbipaistvaks ning elemendid võivad mudelist kaduda;
- mõõtude võtmine on piiratud;
- *Publish* funktsiooniga valmistatud .exe fail ei tööta;
- ei sobi mahukate mudelite visualiseerimiseks, sest ei ole võimalik tagada iiveldustundeta kasutuskogemust;
- kui hoone koosneb mitmest osamudelist, mis ei ole Reviti formaadis, siis tuleb esmalt salvestada need kõik Reviti formaati, et neid oleks võimalik pilves töödelda.

4.5. Fuzor 2018 Educational 4.0

4.5.1. Tarkvara lühikirjeldus

Fuzor ([link](#)) on visualiseerimistarkvara, mis toetab üldlevinud 3D ja BIM failiformaate läbi projekteerimistarkvarasse paigaldatava liidese või võimalusega importida failiformaati otse Fuzori keskkonda. Fuzori funktsionaalsus on väga lai, võimaldades muuta keskkonda laetud elemente (liigutada, kopeerida, muuta materjale) ja samal ajal olla ühendatud modelleerimistarkvaras oleva mudeliga, et muudatused kajastuksid kohe Fuzoris olevas mudelis. Fuzor võimaldab mängida läbi erinevaid stsenaariume, mida võib hoone ehituse käigus ette tulla, näiteks ehitusmasinate paiknemine ning liikumine ehitusplatsil või tööohutuse tagamine ehitamise ajal (Fuzoril on selle jaoks välja arendatud spetsiaalsed elemendid ja funktsionaalsused). Lisaks on erinevatel osapooltel võimalik osaleda mudeli vaatlemisel ning selle käigus lisada ka kommentaare. Fuzor võimaldab ühildada faile erinevatest projekteerimistarkvaradest ilma, et neid oleks vaja teisendada ning sellega säilitatakse mudelisse lisatud BIM informatsioon. Käesolevas töös on kasutatud Fuzori Educational 2018 versiooni, mille maksimaalne lubatud failimaht Reviti puhul on 150 MB.

Tabelis 11 on toodud nõuded arvutile Fuzori kasutamiseks.

Tabel 11. Nõuded Fuzori kasutamiseks [[24](#)]

Näitaja	Soovitav nõue
Operatsioonisüsteem	Windows 10
Protsessor	Intel Core i7-6700 "Skylake" või AMD FX-9590 "Piledriver" või parem
Graafikakaart	NVIDIA GTX 980 / AMD R9 390X 4GB RAM või parem
Muutmälu	8 GB RAM
Minimaalne vaba mälu maht	4 GB

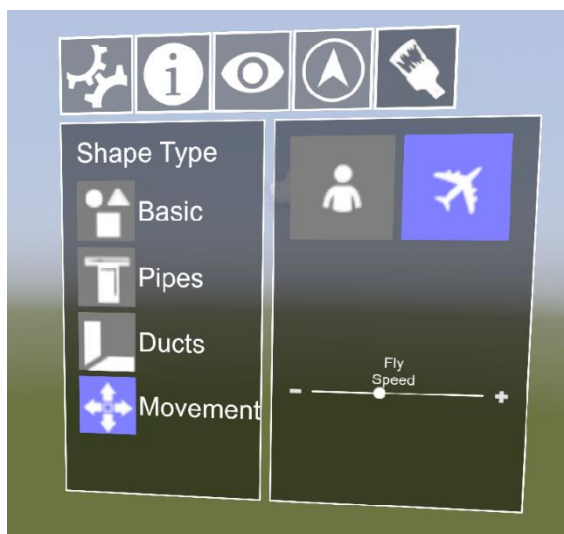
Fuzor pakub väga erinevaid lahendustepakette. Üks pakett, mis sisaldab ka VR lahendust, kannab nime Virtual Design Construction (VDC) ja selle kuutasu sõltuvalt funktsionaalsusest on vahemikus 750...950 \$. Täpsemad hinnad, selgitused ja paketid on toodud tootja kodulehel ([link](#)).

4.5.2. Tarkvara funktsionaalsus

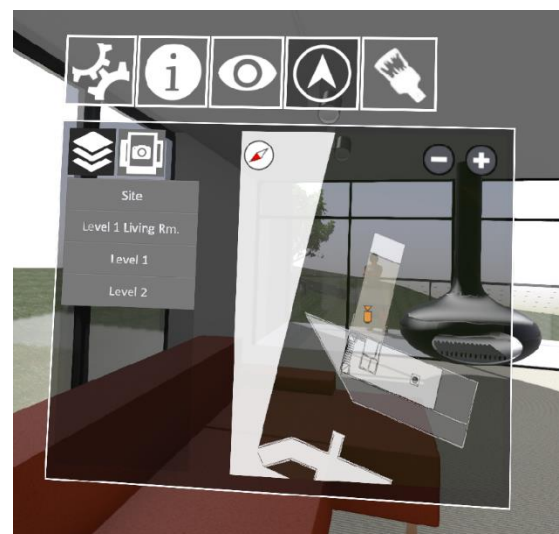
Fuzor on väga funktsionaalne visualiseerimistarkvara, võimaldades alljärgnevat:

- keskkonnas navigeerimiseks saab kasutada teleporteerumist ja lendamist ([joonis 138](#));
- VR vaates on võimalik vaadata enda asukohta hoone plaanil ja liikuda erinevatesse eelseadistatud vaadetes ([joonis 139](#));
- VR vaates on võimalik lülitada kihte sisse ja välja ([joonis 140](#));
- *Settings* tööriistaribal saab muuta keskkonna renderdamise kvaliteeti – valida on *Realistic* ja *Draft* variantide vahel ([joonis 141](#));
- tööriistaribalt saab käivitada erinevaid tegevusi, mis võimaldavad võtta valikusse objekte ja neid liigutada, võtta mõõte, kopeerida mudeli elemente, muuta mudeli mõõtkava, joonistada ning muuta elementide materjale ([joonis 141](#));
- on võimalik kuvada elementide parameetreid ([joonis 142](#));
- on võimalik muuta päevaega ([joonis 143](#));
- töölaua vaates saab lisaks seadistada ilmastikuolusid (nagu vihma- ja lumesadu) ning ööpäeva tsükli vahetumise kiirust;

- Revitis olnud inimesed ja puud on Fuzori poolt automaatselt asendatud fotorealistlike ja animeeritud kujutistega (joonis 144);
- keskkonnas on võimalik joonestada lihtsaid geomeetrisi kujundeid nagu silinder, kera, risttahukas ja kuup (joonis 145);
- pimedal ajal hakkab automaatselt põlema valgustus, mille töötamist saab täpsemalt seadistada (joonis 146);
- töölaual saab mudelist salvestada eraldi vaaturi (joonis 147), mis on .exe formaadis ja milles on võimalik kasutajal teha järgnevaid toiminguid:
 - liikuda töölaua vaates ja VR prille kasutades;
 - muuta keskkonna renderdamise seadistust, kellaega, hoone asukohta (koordinaate) ja ilmastikutingimusi;
 - lülitada mudeli kihte sisse-välja;
 - liikuda erinevate eelseadistatud vaadete vahel;
 - vaadata eelnevalt lisatud märkuseid;
- on võimalik luua mitme osalejaga mudeli vaatlust (joonis 148);
- töölaua funktsionaalsus on väga lai võimaldades järgnevat (joonised 149 ja 150):
 - importida tarkvarasse .pts ja .fls formaadis punkt pilvesid;
 - teha mudelist lõiget;
 - mõõdistada;
 - teha kuvatõmmiseid;
 - valmistada erinevaid läbivaatuse videosid;
 - lisada täiendavaid eriefekte (tuli, vesi, aur) ning objekte nagu, taimestik, inimesed jne (joonis 151);
 - importida .che, .chl, .fbx, .3ds ja .skp formaate ning salvestada Fuzori .che formaati (joonis 152);
 - tarkvara täisversioonis on võimalik lisaks eelnevatele funktsioonidele teostada 4D simulatsiooni ja vastuolude analüüsi;
- projekteerimistarkvaras reaalajas tehtud muudatused kajastuvad automaatselt Fuzori keskkonnas ning tarkvara võimaldab ka vastupidist;
- peegeldab läikivalt pinnalt reaalset keskkonda (joonis 153).



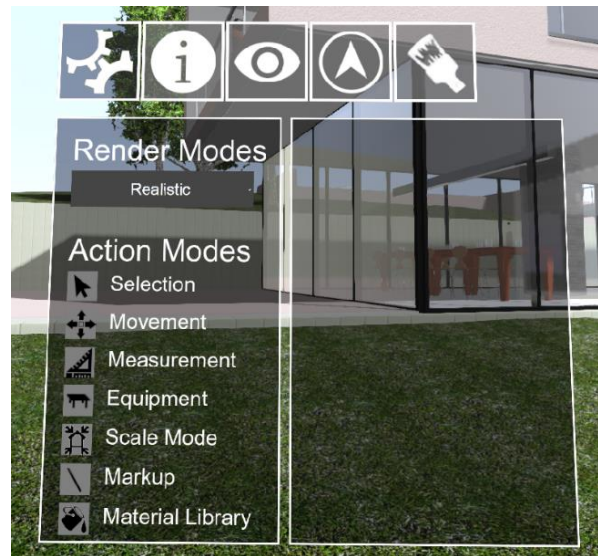
Joonis 138. Võimalikud liikumise funktsioonid



Joonis 139. Enda asukoha vaatamine hoone plaanil



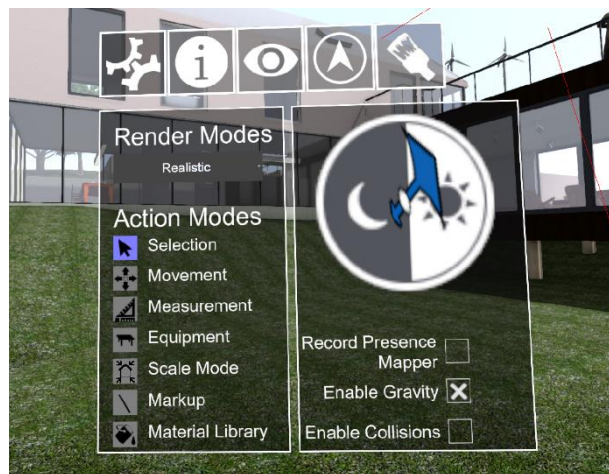
Joonis 140. Kihtide sisse ja välja lülitamine



Joonis 141. Tööriistariba



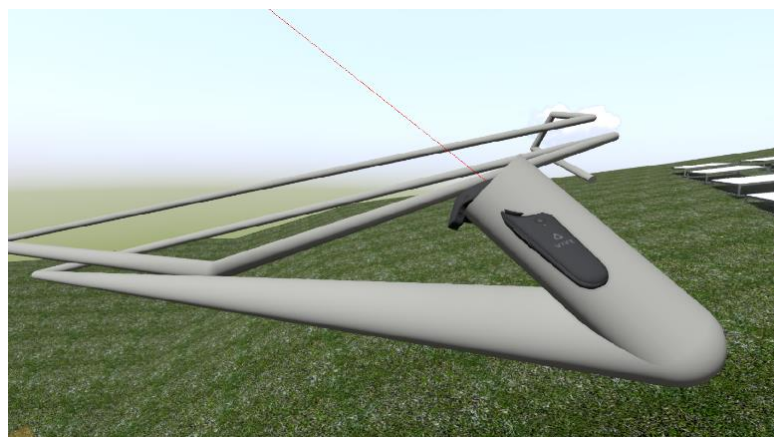
Joonis 142. Elemendi parameetrite kuvamine



Joonis 143. Päevaaja muutmine



Joonis 144. Inimesed ja puud on asendatud fotorealistlike kujudega



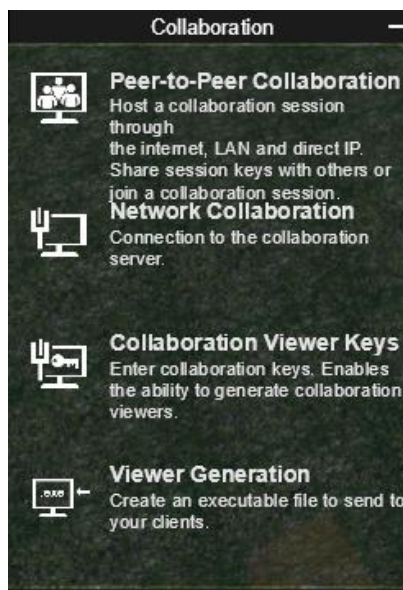
Joonis 145. Kujundite joonestamine



Joonis 146. Tehisvalgustus hakkab öösel põlema



Joonis 147. Käivitatud vaaturi fail



Joonis 148. Mitme osalejaga mudeli vaatamise võimalused



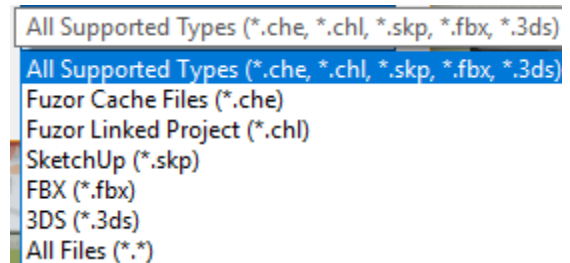
Joonis 149. Töölaua funktsionaalsus



Joonis 150. Töölaua tööriistad



Joonis 151. Eriefektid



Joonis 152. Imporditavate failide loend

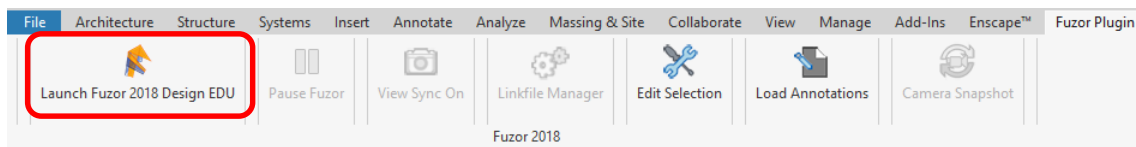


Joonis 153. Vaade Viimsi Riigigümnaasiumi mudelis olevale uksele, mis peegeldab reaalselt tausta (paremal peegeldav ukseklaas ja vasakul peegeldatud keskkond)

4.5.3. Mudeli viimine visualiseerimistarkvarasse

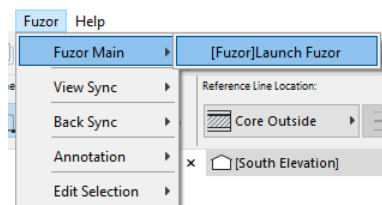
Mudeli viimine Fuzori keskkonda on hõlbus, sest Fuzor on välja arendanud liidesed mitmele levinud BIM tarkvarale nagu Revit, ARCHICAD ja Autodesk Manage. Lisaks on võimalik tarkvarasse importida formaate .fbx, .3ds ja .skp ning punktipilvede osas .pts ja .fls. Fuzori failiformaadiks on .che ja tarkvara võimaldab ka salvestada mudelist eraldiseisva mudelivaaturi .exe faili.

Revitisse tekib peale Fuzori installeerimist vastav liides. Kui mudel on Revitis avatud, siis selle viimiseks Fuzorisse tuleb vajutada nupule *Launch Fuzor 2018 Design EDU* (joonis 154), seejärel valida sobiv mudeli 3D vaade ning määrata mudeli detailsuse aste (*Coarse, Medium* või *Fine*) ning lõpuks vajutada nupule *OK*.



Joonis 154. Tarkvaras Revit olev Fuzor liides

ARCHICADis tekib peale Fuzori paigaldamist samuti liides. Kui mudel on ARCHICADis avatud, siis selle Fuzorisse viimiseks tuleb liikuda sakile *Fuzor*, edasi *Fuzor Main* ning vajutada nupule *[Fuzor] Launch Fuzor* (joonis 155).



Joonis 155. Tarkvaras ARCHICAD olev Fuzor liides

Reviti näidismaja on viidud Fuzorisse kasutades Revitis olevat Fuzori liidest. Sama teekonda kasutati ka KODA moodulmaja korral, kuid kõiki osamudeleid ei saanud Educational litsentsi piirangu tõttu (maksimaalselt 150 MB) korruga üle viia. Seetõttu tuli osamudelid viia Fuzorisse ükshaaval (sest iga mudeli andmemahd jäi alla 150 MB) ning salvestada .che formaati. Seejärel sai kõik .che formaadis failid *Linked Files* funktsiooni kasutades Fuzori põhimudelisse laadida. KODA mudelist eemaldati plinkimise tõttu konstruktsiooni osamudel.

Viimsi Riigigümnaasiumi .pln formaadis hoone ja sisearhitektuuri mudelid viidi Fuzoris kasutades ARCHICADis olevat liidest. Mudelid, mis olid .ifc formaadis, salvestati ARCHICADist .3ds formaati ning imporditi Fuzoris.

Kohtumaja .ifc formaadis mudel imporditi ARCHICADi ning Fuzori liidese abil oli see plaanis viia Fuzori keskkonda. Mudelit laeti Fuzoris orienteeruvalt 2,5 tundi, misjärel ilmus veateade "Fuzor has stopped working". Reviti kaudu ei olnud võimalik mudeli üleviimist proovida, sest Revitisse salvestatud Kohtumaja mudeli maht oli 1,7 GB ning Educational versiooni piirang sellele on 150 MB.

4.5.4. Kasutuskogemus

Reviti näidismaja (joonised 156 ja 157):

- VR keskkond on tänu väga headele tekstuuridele, suurepärasele valgusele ning fotorealistlikele kujudele visuaalselt kaasahaarav ja tõetruu (joonis 158);
- auto tekstuur oli kadunud (joonis 159);
- esineb üksikuid objekte, mille materjal peegeldub üleliigselt või klaasi puhul peegeldab valesti (joonised 160 ja 161);
- mudelis navigeerimine on mugav ning VR keskkonna funktsioonide kasutamine hea;
- Revitis tehtud muudatused kandusid korrektselt Fuzoris üle (joonised 162 ja 163), kuid teadmata põhjustel vastupidine tegevus ei toimunud.



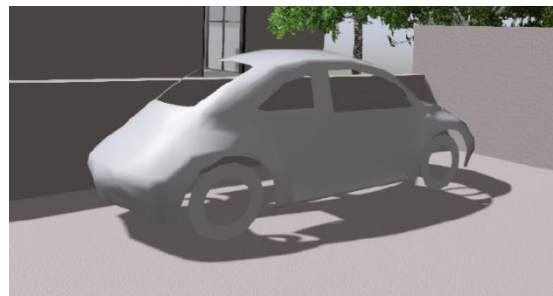
Joonis 156. Reviti näidismaja välisvaade Fuzoris



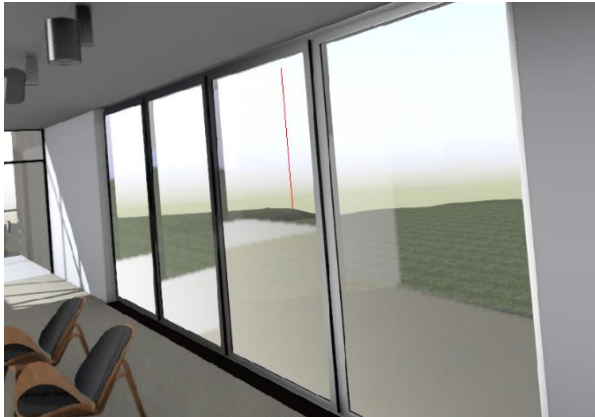
Joonis 157. Reviti näidismaja sisevaade Fuzoris



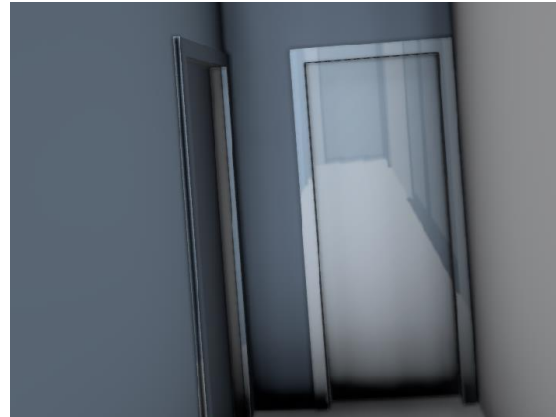
Joonis 158. Väga hea visualiseering



Joonis 159. Auto tekstuur on kadunud



Joonis 160. Akendes peegelduvad valed elemendid



Joonis 161. Uks peegeldab, kuigi ei peaks



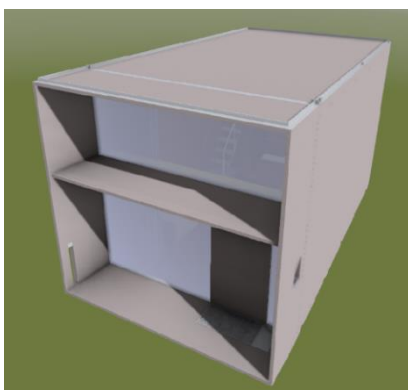
Joonis 162. Revitis pikendatud katuseelement



Joonis 163. Revitis teostatud ning Fuzorisse kandunud katuse pikendamine

KODA (joonised 164 ja 165):

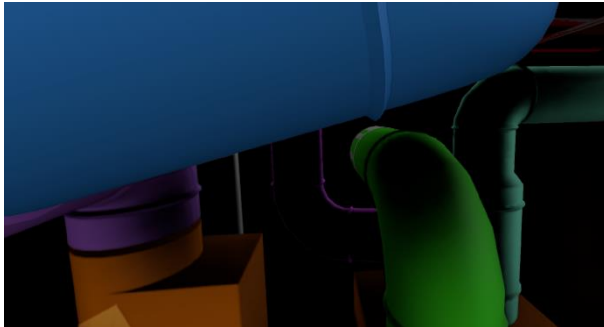
- mudelis liikumine ei halvendanud enesetunnet;
- kasutuskogemus oli hea ja funktsioonid mudeli läbivaatamiseks piisavad (vajadusel sai teleporteerumise asemel kasutada lendamise režiimi);
- teleporteerumise funktsioon ei võimaldanud teleporteeruda diivani ja laua vahele, sest vastav ala oli teleporteerumise funktsiooni jaoks liiga väike;
- sisekeskkond on üsna tume, kui kasutada renderdussätet *Realistic*;
- *Realistic* renderduse sättega on varjud enamjaolt usutavad, kuid tehnosüsteemide on selle seadistusega keerukas vaadata ning soovitatav on kasutada *Draft* renderdust, millest on varjud eemaldatud (joonised 166 ja 167).



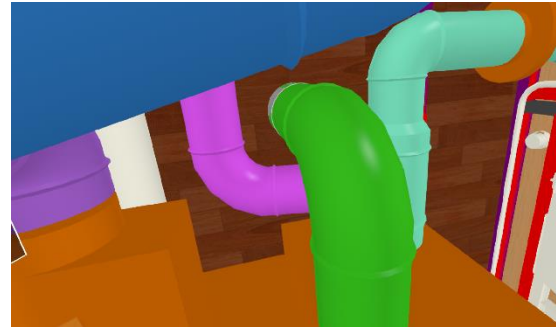
Joonis 164. KODA välisvaade Fuzoris



Joonis 165. KODA sisevaade Fuzoris (*Realistic* renderdamise sättega)



Joonis 166. Tehnosüsteemid Realistic renderdamise sättega (keeruline aru saada)



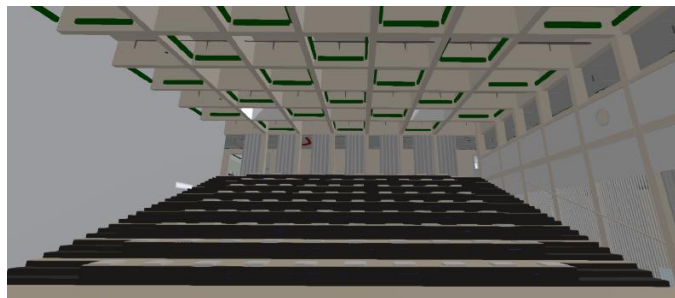
Joonis 167. Tehnosüsteemid Draft renderdamise sättega

Viimsi Riigigümnaasium (joonised 168...171):

- VR keskkonnas olevad funktsioonid toimivad hästi;
- keskkonna vaatlemisel on tunda, et kaadrisagedus on ideaalsest kaadrisagedusest madalam ning see mõjus enesetundele halvasti;
- Draft renderduse sättega on keskkonnas liikumine oluliselt parem, kui Realistic sättega, sest arvutil on seda lihtsam töödelda;
- Draft renderdussätet kasutades muutuvad osad tehnosüsteemid üleni mustaks, kuid Realistic sättega on konkreetne värv olemas (joonised 172 ja 173).



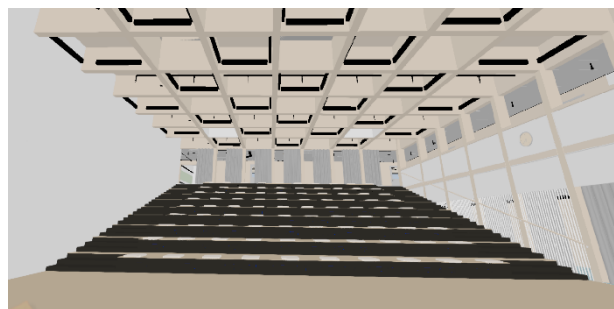
Joonis 168. VRG välisvaade Fuzoris Realistic renderdamise sättega



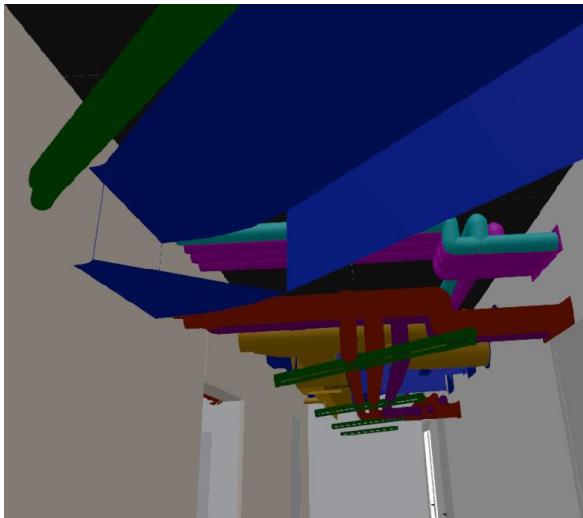
Joonis 169. VRG sisevaade Fuzoris Realistic renderdamise sättega



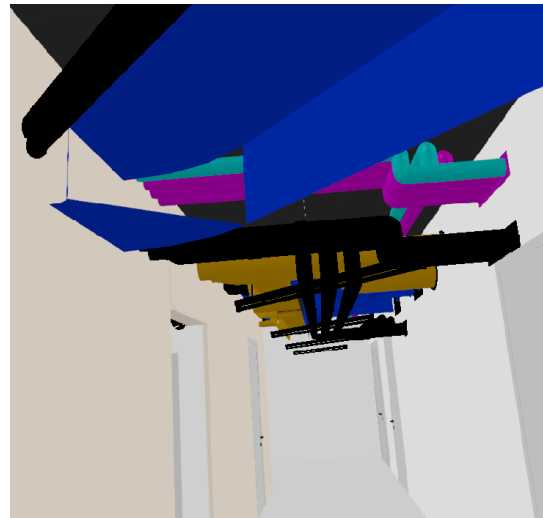
Joonis 170. VRG välisvaade Fuzoris Draft renderdamise sättega



Joonis 171. VRG sisevaade Fuzoris Draft renderdamise sättega



Joonis 172. Tehnosüsteemid Realistic renderdamise sättega (kohati paistavad läbi)



Joonis 173. Tehnosüsteemid Draft renderdamise sättega (kohati paistavad läbi ja osad on muutnud värvi)

4.5.5. Koondhinnang

Plussid:

- + keskkond näeb *Realistic* renderduse sättega väga hea välja;
- + animeeritud ja fotorealistlikud objektid, valgustus, ööpäeva simulatsioon ning ilmastikunähtuste seadistamise võimalus muudavad keskkonna väga realistlikuks ja elavaks;
- + renderdamise kvaliteeti saab muuta vastavalt vajadusele;
- + tarkvara funktsionaalsus on mitmekülgne mudelist info saamiseks;
- + mudelis olevate elementide ümberpaigutamine, kopeerimine ja pinnaomaduste muutmine on lihtne ja mugav.

Miinused:

- lennurežiimis võiks liikumissuuna juhtimine olla prillivaate asemel juhitav puldi abil;
- juhtpulti kasutades võiks teleporteerumis- ja lennurežiimi vahetamine olla lihtsam;
- esines elemente, mille osad pinnad olid läbipaistvad;
- kasutajat tähistava VR avatari mõõtmed on *roomscale*'i lahenduse puhul liiga suured, mis tekitasid elementidele (nt laud) lähenedes nende peale hüppamise;
- juhtpultide funktsioonide paigutus võiks olla käepärasem;
- HTC Vive'i juhtpulte kasutades ei ole kasutajal võimalik vaadet pöörata.

5. JÄRELDUSED, SOOVITUSED JA KOKKUVÕTE

Kõikide uuringus katsetatud visualiseerimistarkvarade korral esines probleeme, mis on tingitud nii piiratud funktsionaalsusest, visualiseerimise kvaliteedist kui ka kasutusmugavusest. Suurim sisuline probleem oli seotud .ifc formaadis mudelitega. Uuringu tegemise vältel oli näha, et tarkvaraarendustega tegeletakse aktiivselt – esines tarkvarasid, kus mõnekuuse vahega tulid uuendused, mis laiendasid tarkvara funktsionaalsust, parandasid visuaalset poolt või paranes tarkvara töökindlus.

VR tarkvara valimisel tuleb otsustada, mis on selle kasutamise eesmärk, kellele saab see olema suunatud ning millised on kasutatavad projekteerimistarkvarad. Tarkvaraks, mis renderdab keskkonda väga hea kvaliteediga ja on samas ka väga laia funktsionaalsusega, on Fuzor. Kui tellijat (mudeli kasutajat) huvitab ainult võimalikult realistliku kasutuskogemuse saamine, siis tuleks eelistada Enscape'i või Fuzorit. Kui esmatähtis on visualiseerimistarkvara funktsionaalsus, siis võib soovitada Fuzorit või IrisVRi. VRcollab on kõikides näitajates tugev keskmik, millel on tehnilistest probleemidest vabanemisel palju potentsiaali. Revit Live küll erilisel silma ei torka, kuid tegemist on tarkvaraga, mis on Reviti kui projekteerimistarkvara kasutajatel tasuta olemas. Kõikide uuringus vaadeldud mudelite visualiseerimisega said hakkama vaid IrisVR ja Enscape.

On oluline märkida, et mitte ükski vaadeldud visualiseerimistarkvara ei ole tervikuna nii halb, et selle kasutamist peaks vältima. Kokkuvõtlikult on visualiseerimistarkvarade eelised ja puudused esitatud peatükkides [4.1.5](#) (IrisVR), [4.2.5](#) (VRcollab), [4.3.5](#) (Enscape), [4.4.5](#) (Revit Live) ja [4.5.5](#) (Fuzor). Käesoleva uuringu autorite subjektiivne koondhinnang tarkvaradele on esitatud [tabelis 12](#).

Tabel 12. Uuringus vaadeldud visualiseerimistarkvarade koondhinnang

Visualiseerimis-tarkvara	Funktsionaalsus	Visualiseering	Kasutusmugavus
IrisVR	Hea	Rahuldav	Suurepärane
VRcollab	Hea	Hea	Suurepärane
Enscape	Hea	Suurepärane	Suurepärane
Revit Live	Rahuldav	Hea	Rahuldav
Fuzor	Suurepärane	Suurepärane	Hea

Värvide selgitus:

- Suurepärane
- Hea
- Rahuldav

VR prillidest olid HTC Vive ja Oculus Rift nii kvaliteedilt kui ka kasutusmugavuselt võrreldavad. HTC Vive'i eeliseks võib lugeda *roomscale*'i ning kasutaja asukoha väga täpset määramist. Oculus Rift oli parem juhtpultide kasutusmugavuse poolest. Acer Headset peakomplekti koostekvaliteet ja kasutusmugavus jääb eespool mainitutele mõnevõrra alla, kuid eeliseks on portatiivsus ning lihtne seadistamine. Praegusel ajal saadaval olevatest prillidest võib soovitada HTC Vive Pro'd, millel on paari aasta vanuste mudelitega võrreldes parem funktsionaalsus ja kvaliteet. Võimalusel tuleks eelistada juhtmevaba ühendust, kuna see on mugavam ja kasutamisel ohutum.

Mudelite viimiseks visualiseerimistarkvarasse on mitmeid viise. [Tabelis 13](#) on toodud kokkuvõtlikult need meetodid, mida uuringu autorid soovitsid kasutada. Seejuures võib siiski tekkida mõningaid probleeme, mida on lähemalt kirjeldatud uuringu vastavates peatükkides.

Tabel 13. Soovituslikud meetodid mudelite üleviimiseks modelleerimistarkvarast visualiseerimistarkvarasse

Modelleerimis-tarkvara	Mudeli formaat	Faili ümbersalvestamine	Mudeli üleviimise viis	Protsess mudeli visualiseerimis-tarkvarasse viimiseks	Visualiseerimis-tarkvara		
Revit	.rvt	-	liides	liidese kaudu laadimine	IrisVR VRcollab InsiteVR		
	.ifc	-					
ARCHICAD	.pln	salvestada .skp formaati	SketchUp (Pro)	teeki importimine			
	.ifc		SketchUp Pro				
SketchUp (Pro)	.skp	-					
	.ifc	salvestada .skp formaati					
Revit	.rvt	-	liides	liidese kaudu laadimine		Enscape	
	.ifc	-					
ARCHICAD	.pln	salvestada .skp formaati	SketchUp (Pro)				
	.ifc						
SketchUp (Pro)	.skp	-	liides				
	.ifc	salvestada .skp formaati					
Revit	.rvt	-	liides		liidese kaudu laadimine		Revit Live
	.ifc	-					
ARCHICAD	.pln	salvestada .ifc formaati	Revit				
	.ifc	-					
SketchUp Pro	.skp	salvestada .ifc formaati					
	.ifc	-					
Revit	.rvt	-	liides	liidese kaudu laadimine		Fuzor	
	.ifc	-					
ARCHICAD	.pln	-					
	.ifc	-					
Nawisworks Manage	.nwc	-					
	.ifc	-					
SketchUp (Pro)	.skp	-	tarkvarasse importimine				
	.ifc	salvestada .skp formaati					
Revit	.rvt	-	liides		liidese kaudu laadimine		Twinmotion
	.ifc	-					
ARCHICAD	.pln	-	liides				
	.ifc	-					
SketchUp (Pro)	.skp	-	tarkvarasse importimine				
	.ifc	salvestada .skp formaati					
Revit	.rvt	rvt2skp liidese abil salvestada .skp formaati		tarkvarasse importimine	SYMMETRY alpha		
	.ifc						
ARCHICAD	.pln	salvestada .skp formaati	SketchUp (Pro)				
	.ifc						
SketchUp (Pro)	.skp						
	.ifc	salvestada .skp formaati					

Modelleerimis-tarkvara	Mudeli formaat	Faili ümbersalvestamine	Mudeli üleviimise viis	Protsess mudeli visualiseerimistarkvarasse viimiseks	Visualiseerimistarkvara
Märkused: 1) .ifc formaadi puhul tuleb arvestada, et tekstuurid ei kandu üle ja nende kuvamisel visualiseerimistarkvaras võib olla probleeme puuduvate, paigast nihkunud ning läbipaistvaks muutunud elementidega. 2) alati on soovitatav eelistada visualiseerimistarkvarasse viimisel modelleerimistarkvara põhiformaadis mudelit. 3) SketchUp (Pro) – tähistab nii Sketchupi kui ka SketchUp Pro-d.					

Soovitused ja tähelepanekud:

- .ifc mudelite kasutamisel visualiseerimiskeskkonnas tuleb arvestada, et võib esineda elementide kadumist, nihkumist või muutumist.
- Mida mahukamaks ja detailsemaks muutub mudel, seda nõudlikum on see arvuti riistvara suhtes. Ka arvutid, mis on paremate tehniliste näitajatega, kui tarkvaratootjate poolt soovitatud, jäävad kõige mahukamate mudelite korral hätta. Sellises olukorras võib nt soovitada eemaldada mudelist need elemendid või kihid, mida visualiseerimise jaoks ei vajata.
- Mudeli hea vaatluskogemus sõltub riistvara jõudlusest, mudeli polügoonide ja tekstuurde arvust, peaseadme trackimise viisist ning visualiseerimistarkvara võimekusest. Faili andmemahu ei saa hinnangu andmiseks üldjuhul kasutada. Seetõttu on ühtset soovitus raske anda. Edasised soovitused on tehtud võttes aluseks eeldused, et kasutatakse i7 protsessorit ning vähemalt GTX 1080 graafikakaarti (või võrdväärset). Seejuures tuleb arvestada, et polügoonide hulk, mida näitab BIM tarkvara, muutub visualiseerimistarkvarasse viimise käigus mudeli ümbertöötlemise protsessi tõttu. Mudeli maksimaalne soovituslik polügoonide arv BIM tarkvaras on suurepärase vaatluskogemuse jaoks orienteeruvalt 1-2 miljonit ja visualiseerimistarkvaras 3-4 miljonit polügooni. Seejuures tuleb rõhutada, et visualiseerimistarkvaras kasutatava mudeli soovituslik maksimaalne polügoonide arv võib tarkvarast lähtuvalt märgatavalt erineda.
- Kõige töökindlama visualiseerimistulemuse annavad failiformaadid, mida visualiseerimistarkvara arendaja on soovitanud. Seejuures oli kõige kiiremaks ja mugavamaks mudeli projekteerimistarkvarast visualiseerimistarkvarasse üleviimise viisiks see, kui kasutati liidest.
- Paljudel visualiseerimistarkvaradel puudus võimekus mahukaid mudeleid käivitada või oli lõpptulemus kasutuskõlbmatu.
- Mudelite vaatlemisel tuleb erilist tähelepanu pöörata võimalikule enesetunde halvenemisele. Inimesed taluvad VR keskkonnas olemist erinevalt, kuid peamisteks sümptomiteks on iiveldustunne ja koordinatsioonihäired. Enesetunde halvenemine on seotud VR keskkonna töötamise sujuvuse ja kvaliteediga.
- Kõik vaadeldud VR tarkvarad toetasid sellise failiformaadi salvestamist, mille hilisemaks avamiseks ei ole vaja tasulist tarkvara.
- Visualiseerimistarkvarade kvaliteet tervikuna on selline, mis lubab VR keskkonnas viibides teostada vastuolude kontrolli ja läbi viia mitme kasutajaga koosolekuid.

KASUTATUD ALLIKAD

[1]	https://bknowledge.com/ct-formsubmitted
[2]	https://www.statista.com/statistics/671403/global-virtual-reality-device-shipments-by-vendor/
[3]	https://venturebeat.com/2018/03/19/idc-vr-and-ar-headset-sales-expected-to-jump-over-50-annually-hit-68-9-million-in-2022/
[4]	https://www.statista.com/statistics/426469/active-virtual-reality-users-worldwide/
[5]	http://eprints.ttkk.ee/4015/
[6]	https://www.digitaltrends.com/computing/what-is-vr-all-the-basics-of-virtual-reality/
[7]	https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html
[8]	https://www.sutori.com/item/1961-headsight-developed-by-comeau-and-bryan-the-headsight-projected-screen-f
[9]	http://www.inventinginteractive.com/2010/03/22/myron-krueger/
[10]	http://www.gravicon.ee/BIMest.html
[11]	http://www.rkas.ee/parim-praktika/bim
[12]	https://www.roadtovr.com/tpcast-announces-business-edition-wireless-vr-kit-6-simultaneous-users/
[13]	https://medium.com/@Hales/where-does-room-scale-vr-fit-in-3d0bc62c730
[14]	https://www.vive.com/eu/product/
[15]	https://www.vive.com/eu/product/vive-pro/
[16]	https://www.oculus.com/rift/
[17]	https://www.pimaxvr.com/en/product/4k/
[18]	https://www.kickstarter.com/projects/pimax8kvr/pimax-the-worlds-first-8k-vr-headset
[19]	https://www.microsoft.com/en-us/windows/windows-mixed-reality
[20]	https://support.microsoft.com/en-us/help/4039260/windows-10-mixed-reality-pc-hardware-guidelines
[21]	https://help.irisvr.com/hc/en-us/articles/213711747
[22]	https://help.vrcollab.com/hc/en-us/articles/115002761274-Recommended-specifications-for-running-Virtual-Reality
[23]	https://knowledge.autodesk.com/support/revit-live/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-LIVE.html
[24]	https://www.kalloctech.com/support.jsp
[25]	https://www.youtube.com/watch?v=4BOWLCoBqCs&feature=youtu.be
[26]	https://www.youtube.com/watch?v=vSINEBZNCKs&feature=youtu.be
[27]	https://www.youtube.com/watch?v=Y2AIDHjyIMI&feature=youtu.be
[28]	https://www.youtube.com/watch?v=NtwZXGprxag&feature=youtu.be
[29]	https://www.vive.com/eu/product/
[30]	https://store.steampowered.com/
[31]	https://steamcommunity.com/steamvr
[32]	https://www.vive.com/us/setup/
[33]	https://www.oculus.com/setup/
[34]	https://www.pimaxvr.com/en/8k/
[35]	https://store.steampowered.com/app/719950/Windows_Mixed_Reality_for_SteamVR/
[36]	https://support.microsoft.com/en-us/help/4041252/windows-10-use-mixed-reality-portal
[37]	https://www.microsoft.com/en-us/p/windows-mixed-reality-pc-check/9nzhv19n7cnc?rtc=1
[38]	https://www.microsoft.com/en-us/store/collections/vrandmixedrealityheadsets
[39]	https://www.autodesk.com/products/revit/overview
[40]	http://www.graphisoft.com/archicad/
[41]	https://www.sketchup.com/
[42]	https://help.sketchup.com/zh-CN/content/sketchup-pro

[43]	https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Revit-GetStarted/files/GUID-61EF2F22-3A1F-4317-B925-1E85F138BE88-htm.html
[44]	https://irisvr.com/
[45]	https://help.irisvr.com/hc/en-us/articles/230896488-Sharing-IVZ-IVM-Files
[46]	https://irisvr.com/pricing
[47]	https://vrcollab.com/
[48]	https://vrcollab.com/pricing-plan/
[49]	https://enscape3d.com/
[50]	https://enscape3d.com/knowledgebase/standalone-export/
[51]	https://enscape3d.com/knowledgebase/using-virtual-reality-headset/
[52]	https://enscape3d.com/store/
[53]	https://www.autodesk.com/products/revit-live/overview
[54]	https://www.kalloctech.com/
[55]	https://www.kalloctech.com/purchase.jsp#purchase_ultimate

LISA 1 – KUVATÕMMISED REVITI NÄIDISMAJAST



Joonis 174. Reviti näidismaja välisvaade IrisVRis



Joonis 175. Reviti näidismaja välisvaade VRcollabis



Joonis 176. Reviti näidismaja välisvaade Enscape'is



Joonis 177. Reviti näidismaja välisvaade Revit Live'is



Joonis 178. Reviti näidismaja välisvaade Fuzoris



Joonis 179. Reviti näidismaja sisevaade IrisVRis



Joonis 180. Reviti näidismaja sisevaade VRcollabis



Joonis 181. Reviti näidismaja sisevaade Enscape'is



Joonis 182. Reviti näidismaja sisevaade Revit Live'is



Joonis 183. Reviti näidismaja välisvaade Fuzoris