

Timo Jehimoff

**VIRTUAALITODELLISUUSLASIEN KÄYTTÄMINEN ARKKITEH-
TUURISESSA VISUALISOINNISSA**

VIRTUAALITODELLISUUSLASIEN KÄYTTÄMINEN ARKKITEHTUURISESSA VISUALISOINNISSA

Timo Jehimoff
Opinnäytetyö
Lukukausi Kevät vuosi 2019
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Timo Jehimoff

Opinnäytetyön nimi: Virtuaalitodellisuuslasien käyttö arkkitehtuurisessa visualisoinnissa

Työn ohjaaja(t): Lehtori Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 44

Virtuaalitodellisuutta käytetään nykyaikana monilla eli aloilla ja siitä on merkittävää hyötyä myös rakennusteollisuudelle. Teknisesti nopeasti kehittyvät virtuaalitodellisuuslasit tarjoavat tulevaisuudessa kuluttajille uusia ulottuvuuksia ja kehittäjille monenlaisia haasteita.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia virtuaalitodellisuuslasien käyttöä arkkitehtuurisessa visualisoinnissa. Tutkimukseen kuuluivat virtuaalitodellisuuslasien tekniikkaan ja laitteistovaatimukseen perehtyminen sekä käytön ja vaadittavan tilantarpeen suunnittelu. Virtuaalitodellisuuslasien toimivuutta visualisoinnissa testattiin 3D-mallinnetussa omakotitalossa.

Visualisointia ohjasivat virtuaalitodellisuuslasien käyttömukavuus ja realismi. 3D-mallinnettuun omakotitaloon suunniteltiin pintamateriaalit ja -värit, kalusteet, valaistus ja sisustus. Mallin toimivuus näyttävästi yhdessä virtuaalitodellisuuslasien kanssa oli visualisoinnin tärkein prioriteetti.

Kohde mallinnettiin ArchiCAD 21 -ohjelmalla. Tämän jälkeen malli siirrettiin Twinmotion-ohjelmaan virtuaalitodellisuuslasien testausta varten. Visualisointi materiaaleineen suoritettiin Twinmotion-ohjelmassa. Visualisoinnin apuna käytettiin verkkolähteitä.

Opinnäytetyössä laadittiin vahva tietopaketti virtuaalitodellisuuslasien käytöstä visualisoinnissa. Työssä tutkittuja osioita voidaan hyödyntää arkkitehtuurisissa esittelytilanteissa, joissa käyttäjä pääsee tutustumaan suunniteltuun rakennukseen jo alkuvaiheissa. Teoriaosuutta voidaan hyödyntää yleisesti virtuaalitodellisuuslasien laitehankinnoissa ja käyttöönotossa.

Asiasanat: virtuaalitodellisuus, virtuaalitodellisuuslasit, visualisointi, mallintaminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Bachelor of Construction Architecture

Author(s): Timo Jehimoff

Title of thesis: The use of virtual reality glasses in architectural visualization

Supervisor(s): Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: 2019

Pages: 44

The aim of the thesis was to study the use of virtual reality glasses in architectural visualization. The study included familiarization with the techniques of virtual reality glasses, hardware requirements, and design of usage and required space. The functionality of virtual reality glasses was visualized in a 3D modeled detached house.

Visualization was guided by convenience and realism. The 3D modeled house was designed with surface materials and colors, furniture, lighting and interior design.

The impressive performance of the model together with virtual reality glasses was the most important priority.

The object was modeled with ArchiCAD 21, which was transferred to the Twinmotion program for testing virtual reality glasses. Visualization of material was performed in the Twinmotion program. Online sources were used to visualize.

The thesis prepared a strong information package on the use of virtual reality glasses in visualization. The sections studied in the work can be utilized in architectural demonstration situations where the user can get acquainted with the planned construction in its early stages. The theory part can be utilized generally in hardware acquisition and deployment of virtual reality glasses.

Keywords: 3D-modeling, Virtual reality glasses, Visualization

ALKULAUSE

Tein opinnäytetyötäni kesäkuusta 2018, toukokuuhun 2019 saakka. Työnohjaajana toimi Lehtori Kimmo Illikainen. Lisäksi sain virtuaalitodellisuuslasien käyttöön liittyviä neuvoja veljeltäni. Kiitän ohjaajaani tärkeistä neuvoista ja kannustuksesta. Kiitos kuuluu myös Abstacktin tarkastajalleni Heidi Hedströmille ja tekstinohjaajalleni Soili Fabritiukselle, joka kiivaasti mutta hellästi kannusti opinnäytetyön teossa. Kavereitani haluan kiittää tsemppaamisesta ja puolisoani tuesta, kun paljon vietin aikaa tietokoneen ääressä.

Oulussa 7.5.2019

Timo Jehimoff

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 VIRTUAALITODELLISUUS	8
2.1 Virtuaalitodellisuuslasien mahdollisuudet tulevaisuudessa	8
2.2 Aistit virtuaalitodellisuudessa	10
2.2.1 Näköaisti	10
2.2.2 Kuuloaisti	10
3 VIRTUAALITODELLISUUSLASIEN TEKNIikka	11
3.1 Virtuaalitodellisuuslasien kehitys	11
3.2 Saatavilla olevat virtuaalitodellisuuslasi-mallit	12
3.2.1 Oculus Rift	12
3.2.2 HTC Vive	13
3.3 Virtuaalilasien vaatima laitteisto	15
3.4 Ohjelmistot ja sovellukset	16
3.4.1 Twinmotion	16
3.4.2 Unreal Engine	16
3.4.3 Unity	17
4 VIRTUAALITODELLISUUSLASIT VISUALISOINNISSA	18
4.1 Pienoismallin korvaaja	19
4.2 Käyttötilan suunnittelu	19
4.3 Visualisointi	21
4.4 Virtuaalitodellisuuslasien käyttökokemus	35
5 POHDINTA	39
LÄHTEET	40

1 JOHDANTO

Virtuaalitodellisuuslasit ovat silmille laitettava laite, jonka avulla käyttäjän on mahdollista päästä kokemaan virtuaalitodellisuutta. Virtuaalitodellisuuslasien lisävarusteisiin kuuluvilla liikeohjaimilla voidaan tarkastella esineitä, liikutella käsiä ja liikkua virtuaalitodellisuudessa. Lasien käyttöön kuuluvat liiketunnistimet, joiden avulla luodaan tila, jossa käyttäjän liikkeet tapahtuvat yhdenmukaisesti virtuaalitodellisuudessa. Lasien kehitys on ollut huomattavaa 2000-luvusta tähän päivään asti. Laitetta käytetään jo mm. peliteollisuudessa, lääketieteessä sekä rakennus-alalla. Tulevaisuudessa laitteen käyttömahdollisuudet vain kasvavat laitteiden tekniikan kehittyessä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja soveltaa virtuaalitodellisuuslasien käyttöä arkkitehtuurisessa suunnittelussa ja visualisoinnissa. Tutkimuksessa perehdytään tarvittavaan laitteistoon, laitteistojen kehitykseen, laitteen ominaisuuksiin, vaadittaviin ohjelmistoihin sekä siihen, millaisen käyttöympäristön laitteen käyttö ympärilleen tarvitsee. Lisäksi vertaillaan eri laitevalmistajien tuotteita keskenään.

Jotta voidaan ymmärtää, mitä virtuaalitodellisuus on, työssä perehdytään myös ihmisen erilaisiin aisteihin.

2 VIRTUAALITODELLISUUS

Virtuaalitodellisuus on kiehtonut tutkijoita jo vuodesta 1962, jolloin kehitettiin ensimmäinen todellinen virtuaalitodennuslaite. Sensorama-nimisellä laitteella esitettiin lyhyitä laajakuvafilmejä, jonka avulla käyttäjä koki alkeellisen kolmiulotteisen maailman. (1.) Virtuaalitodellisuudessa pyritään siihen, että käyttäjälle tuotetaan täysi kokemus tietokoneella generoimasta virtuaalisesta ympäristöstä (5).

Internet valloitti maailman 1990-luvulla ja toi ihmisille valtavat määrät tietoa kotitietokoneille sekä älypuhelimiin. Virtuaalitodellisuus tuo tulevaisuudessa samalla tavoin kokemukset kaikkien saataville. Virtuaalilaseja on tällä hetkellä myytävänä kuluttajille useita eri malleja. Oculus Rift, HTC Vive ja Sony Playstation VR ovat tunnetuimpia ja kehittyneimpiä kuluttajille suunnattuja virtuaalilaseja. (4.)

Läsnäolon tunnetta voi olla vaikea selittää sanoin, mutta virtuaalitodellisuudessa aivot reagoivat melko lailla samalla tavoin kuin tilanne olisi aito. Pelottavat kokemukset sekä korkeat paikat tuntuvat virtuaalitodellisuudessa riipivän aidoilta. Stanfordin yliopistossa tehdyssä virtuaalitodellisuuslasien tutkimuksessa koehenkilöillä testattiin, kuinka aidolta virtuaalitodellisuus tuntui. Tutkittavan täytyi kävellä virtuaalitodellisuudessa rotkon yli lankkua pitkin. Tutkimuksessa havaittiin aivojen pitävän kokemusta niin aitona, että 30 % koehenkilöistä ei uskaltanut ylitää rotkoa. (4.)

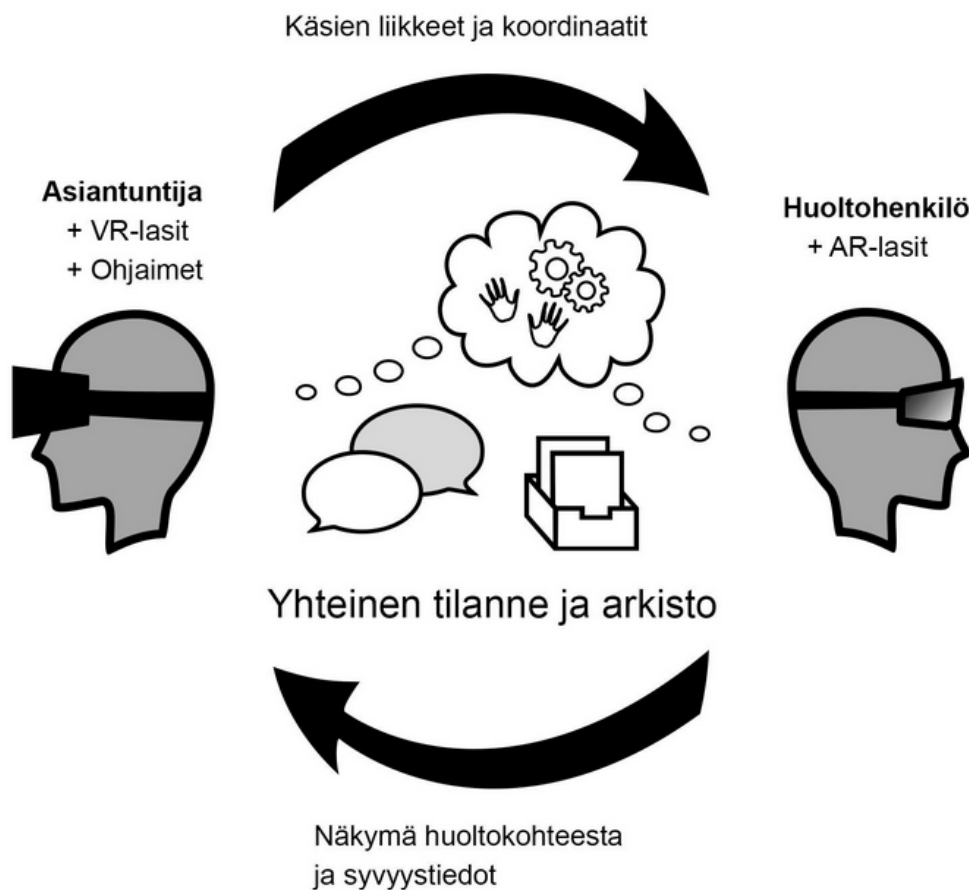
Virtuaalitodellisuutta tuotetaan pääsääntöisesti samoilla ohjelmistoilla kuin tietokonepelejäkin. Näitä ohjelmia ovat mm. Unity 3D ja Unreal Engine. (4.)

2.1 Virtuaalitodellisuuslasien mahdollisuudet tulevaisuudessa

Virtuaalitodellisuuslasien potentiaali tulevaisuuden koulutus- ja opetuslalla on valtaisa. Lääketieteen opetuksessa virtuaalilasit toimivat tehokkaana simulaationa ihmisen anatomian opiskelussa. Virtuaalitodellisuudessa ihmistä voidaan tutkia ja operoida eri suunnista ja kehon eri osia voidaan tutkia tarkemmin suurennustoiminnon avulla. (5.)

Virtuaalilasien käyttöä eri lääkinällisissä hoitomuodoissa on tutkittu jo pitkään. Virtuaalitodellisuuden käyttö esimerkiksi puheterapiassa on edullista ja mahdollistaa potilaiden hoitamisen myös etänä. Potilaat pystyvät tekemään harjoitteita virtuaalimaailmassa, jolloin terapeutti voi seurata hoitoa tuhansien kilometrien päästä. Virtuaalitodellisuutta on testattu myös erilaisissa masennus- ja ahdistushoidoissa sekä kivunlievityksessä useissa hoitotoimenpiteissä. (5.)

Virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää tulevaisuudessa myös vaativissa rakennusalan huoltotöissä. Virtuaalitodellisuuslasien kautta kokenut ammattilainen voi neuvoa ja ohjata etäältä noviisia työntekijää huoltotoimenpiteissä. (Kuva 1.) (6.)



KUVA 1. Virtuaalinen etäneuvonta

2.2 Aistit virtuaalitodellisuudessa

2.2.1 Näköaisti

Virtuaalitodellisuuden kokemuksessa näkö on yksi tärkeimmistä aisteista, sillä se välittää enemmän tietoa kuin mikään muu aisti. Silmän kautta välitetään aivoille valtaosan informaatiosta virtuaalisesta maailmasta. Silmä sisältää valtaosan kaikista ihmisen aistisoluista. Valo, aallonpituudeltaan 397 mm:stä 723 mm:iin on sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalue, jonka ihmissilmä pystyy aistimaan. (11.)

2.2.2 Kuuloaisti

Virtuaalitodellisuuden tilankokemisessa äänet ovat suuressa osassa. Ihmisellä on luonnostaan halu tietää, mistä suunnasta äänet kantautuvat. Tällöin ihminen ei pelkästään kuuntele puhetta tai musiikkia, vaan kuuntelee tilaa. Virtuaalitodellisuussovelluksessa katsetta käännettäessä äänilähde voimistuu ja äänen suunta on havaittavissa, kuten oikeassakin elämässä. Tämän vuoksi tilääni on tärkeä elementti todentuntuisen virtuaalitodellisuuden luonnissa. Tiläänen tuottamiseen stereokuulokkeille vaati huolellista ääni- ja kuvaussuunnittelua. Tilääni on jälkikäsitelty ja äänen fokusointi tuotetaan erillisillä ohjelmistoilla. (12.)

3 VIRTUAALITODELLISUUSLASIEN TEKNIikka

Virtuaalitodellisuuslaseja on kahdenmallisia, tietokoneeseen liitettäviä ja langattomia Stand alone -versiota, joissa laitteen sisään on rakennettu kuvan tuottoon vaadittava tekniikka (2). Tässä työssä perehdyttiin tietokoneeseen liitettäviin laitteisiin.

Virtuaalitodellisuuslasit muodostuvat silmille asennettavasta laitteesta, joka sisältää molemmille silmille erilliset tarkat näytöt. Näiden avulla käyttäjän silmille tuotetaan stereokuvaa, jonka laitteen käyttäjä aistii kolmeulotteisena maailmana. Kuvasignaali voi olla pelkkä kuva, video tai ohjelmistolla tehty virtuaalimaailma. Käyttäjän liikkeitä seuraa erikseen asennettavat liiketunnistimet, joiden avulla jokainen ruumiin liike ohjautuu virtuaalimaailmaan. Varusteisiin kuuluvat käsiohjaimet, joiden avulla käsien toiminnot ohjautuvat virtuaalimaailmaan. Käyttäjä voi tarkastella esineitä, tarttua pintoihin tai liikkua käsiohjainten avulla. (1.) Liikkeen seuranta ja sijainnin tunnistaminen on yksi tärkeimmistä asioista realistisen virtuaalitodellisuus elämyksen aikaan saamiseksi (2).

Parhaan virtuaalitodellisuuskokemuksen saamiseksi tietokoneen täytyy olla riittävän tehokas. Laadukas grafiikka ja liikeseuranta kuormittaa tietokoneen prosessoria sekä näytönohjainta. Laitteiden valmistajat ilmoittavat tietokoneen minimaatimukset, joita täytyy ehdottomasti noudattaa. (2.)

3.1 Virtuaalitodellisuuslasien kehitys

Suomalainen startup-yritys Varjo on kehittämässä virtuaalitodellisuuslasia, jonka näyttöjen resoluutio vastaa ihmissilmän tarkkuutta. Varjon patentoitu teknologia jäljittelee myös ihmissilmän luontaista toimintaa silmien liikesensorien avulla. Keskellä virtuaalimaailman kuvaa voi katsoa jopa 70 megapikselin tarkkuudella. (7.) Laite ei tule kuluttajien saataville, vaan lasit on tarkoitettu ainoastaan teollisuuskäyttöön (8).

3.2 Saatavilla olevat virtuaalitodellisuuslasimallit

3.2.1 Oculus Rift

Oculus Rift -malli on silmienedustan kokonaan peittävä, stereokuulokkeet sekä sisäänrakennetun mikrofonin sisältävä kokonaisuus. Malli on neliönmuotoinen ja väriltään musta (kuva 2).



KUVA 2. Oculus Rift (10)

Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslasissa on kaksi AMOLED-näyttöä, joiden resoluutio on 1 080 x 1 200. Virkistystaajuus on molemmissa näytöissä 90 Hz ja näkökentän laajuus 110 astetta. Näyttöjen ja pupillien etäisyyttä voidaan säätää 58 mm:stä 72mm:iin. (10.)

Laiteensisäinen liikkeenseuranta tapahtuu Gyroskoopin, kiihtyvyyssensorin sekä magnetometerin avulla. Ulkoista liikettä seurataan infrapunasensorien avulla

(kuva 3). Liitännät tapahtuvat USB 3.0- ja HDMI 1.3 -liitännöiden kautta. (10.) Laitteen painoksi ilmoitetaan 470 g (10). Käsien liikettä ohjataan molempiin käsiin tulevilla, langattomilla Oculus Touch -liikeohjaimilla (3).

Laitteen korkeuden säätäminen näkökenttään sopivaksi tapahtuu pään yli kulkevalla hihnalla, lisäksi silmien välin säätöä varten on omat säätimet laitteen alareunassa (kuva 3).



KUVA 3. Oculus Rift

3.2.2 HTC Vive

HTC Vive -virtuaalitodellisuuslasit ovat päähän asennettava, silmienedustan kokonaan peittävä sekä mikrofonin sisältävä kokonaisuus. HTC Vive -virtuaalitodellisuuslaseja on saatavilla ainoastaan tummanharmaana (kuva 4).



KUVA 4. HTC Vive -pääyksikkö (13)

HTC Vive -virtuaalitodellisuuslaseissa on kaksi AMOLED-näyttöä, joiden resoluutio on 2 160 x 1 200, eli 1 080 x 1 200 per näyttö. Näyttöjen virkistystaajuus on molemmissa 90 Hz ja näyttökentänlaajuus on 110 astetta. Liikkeenseuranta tapahtuu G-sensoreilla, gyroscopen sekä SteamVR Tracking -ohjelman avulla. Liikkuminen virtuaalimaailmassa suoritetaan kahdella langattomalla käsiohjaimella, joiden käyttöaika kertalatauksella on 6 tuntia (kuva 5). HTC Vive -virtuaalitodellisuuslasien käyttötila on minimissään 2 m x 1,5 m. Suurin mahdollinen käyttötila on 4 m:stä 3 m:iin. Lisälaitteena löytyy päähän asennettava Vive Deluxe Audio Strap -äänentoistolaitte. (13.)



KUVA 5. HTC Vive -käsiohjaimet (13)

3.3 Virtuaalilasien vaatima laitteisto

Virtuaalitodellisuuslaseja varten hankittavan tietokoneen täytyy olla lähes seitsemän kertaa tehokkaampi grafiikan käsittelyssä kuin perinteisten tietokoneen, jota käytetään 3D-sovelluksiin tai pelaamiseen. Optimaalista virtuaalikokemusta haettaessa on syytä varmistaa, että tietokone täyttää virtuaalipelaamisen edellyttämät ominaisuudet. HTC Vive ja Oculus Rift asettavat tietokonelaitteistolle hyvin lähelle toisiaan samat edellytykset toimiakseen optimaalisesti. Ainut merkittävä ero on, että HTC Vive -virtuaalitodellisuuslasit vaativat 4 gigatavua keskusmuistia Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslasien 8 gigatavun keskusmuistivaatimukseen. Oculus julkaisi tästä syystä 2016 vuonna markkinoille Asynchronous spacewarp -ratkaisun, joka mahdollisti pienemmän 45 hertsin virkistystaajuuden käytön, tästä syystä Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslaseja pystyi käyttämään vähemmän tehokkaalla tietokoneella. (14.)

VR Ready -merkki ilmoittaa tietokoneen grafiikkasuorittimen valmiudesta virtuaalitodellisuuslasien käyttöön. Tehokkaimmat kannettavat tietokoneetkin sisältävät Geforce GTX- ja RTX-grafiikkasuorittimet, joilla virtuaalilasien käyttö on mahdollista. (14.)

Oculus Rift -kotisivusto ilmoittaa tietokoneen minimilaitteistoksi vähintään Nvidian gtx 1 050ti tai Amd Radeon rx 470 näytönohjaimen, Intel i3-6 100 tai Amd Ryzen 3 suorittimen, 8 gb Ram-muistia sekä Windows 10 -käyttöjärjestelmän (3).

3.4 Ohjelmistot ja sovellukset

3.4.1 Twinmotion

Twinmotion-ohjelmalla voidaan tarkastella 3D-mallia virtuaalitodellisuustilassa. Ohjelma on yhteensopiva kaikkien BIM-ohjelmien kanssa ja suora synkronointi on mahdollista Archicad- ja Revit-ohjelmien kanssa. (16.)

Twinmotion-ohjelmassa on todella laadukas reaaliaikainen renderöinti, jonka ansiosta muutokset ja valinnat näkyvät samalla laadulla kuin lopullisessa renderöinnissä. Yksinkertainen ja intuitiivinen käyttöliittymä sisältää yli 600 tekstuuria ja objektia, joilla mallin visualisointi on helppoa ja nopeaa. Myös henkilöhahmoja ja ajoneuvoja on valittavissa. (16.)

Twinmotion-ohjelmasta löytyy mahdollisuus säätötilan muuttamiseen ja eri vuorokausiajankohdan valaistuksen säätämiseen (16).

Verkkojakaminen Twinmotion-ohjelmassa tapahtuu Twinlinker-sovelluksen avulla. Twinlinker-sovelluksen kautta luodut mediat voidaan liittää nopeasti jaettaviksi tiedostoiksi asiakkaalle tarkasteltaviksi. (16.)

3.4.2 Unreal Engine

Unreal Engine -ohjelma on pääsääntöisesti pelisuunnitteluun tarkoitettu ohjelma. Se on myös suunniteltu vaativiin sovelluksiin, kuten AAA-peleihin, elokuvanteekoon ja fotorealisointiin. Unreal Engine -ohjelma täyttää nämä vaatimukset ja tarjoaa vankan pohjan sisällön rakentamiselle kaikille VR-alustoille. Ohjelma sisältää Asset Marketplace -kirjaston, josta löytyy tuhansia vaihtoehtoja tekstuureille, Bluebrintseille- ja Effects-objekteille. (17.)

Unreal Engine -ohjelmisto käyttää C++-moottoria, joka on suunniteltu korkean suorituskyvyn saavuttamiseksi. Siitä löytyy prosessori sekä näytönohjainten profiointityökalut (17).

Unreal Engine -ohjelma toimii virtuaalitodellisuustilassa, jossa on edistyksellinen liikkeenohjainten käyttöliittymä. Se on yksi ominaisuuksiltaan suurin ja kykenevin virtuaalitodellisuuskehitysohjelmisto maailmassa. (17.)

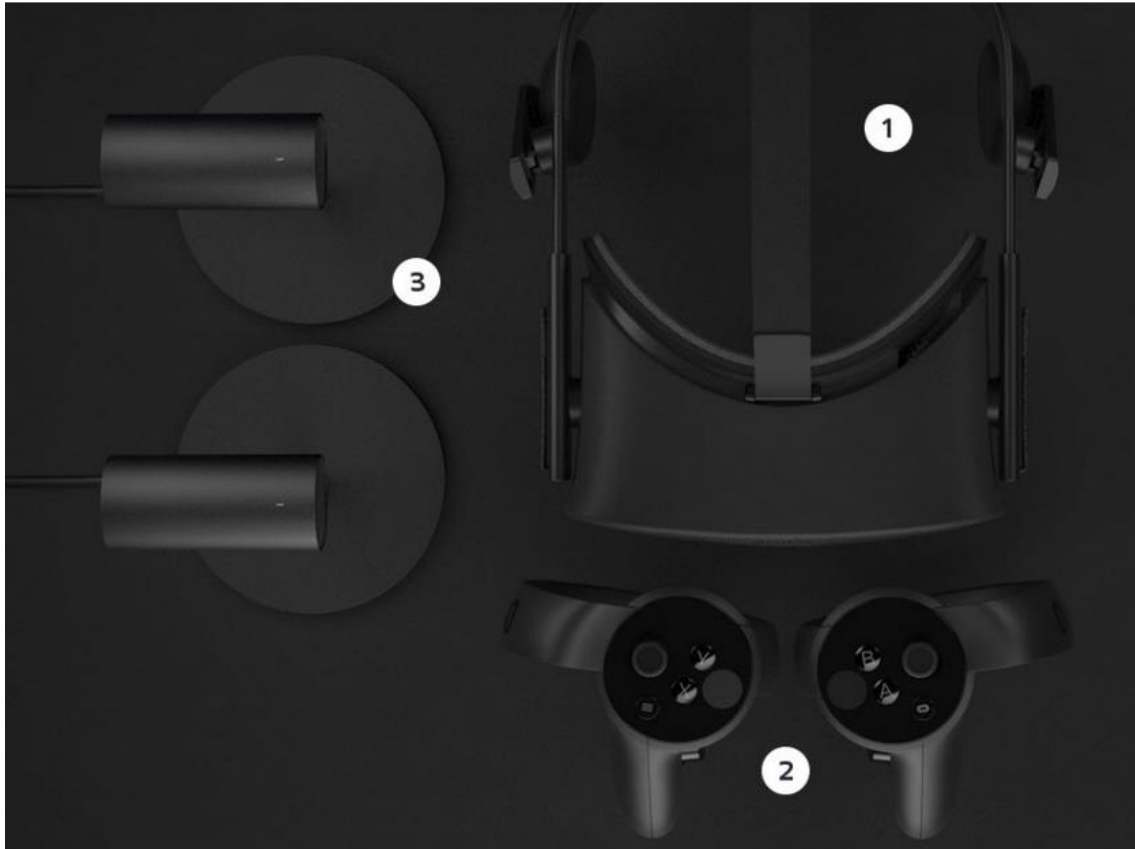
3.4.3 Unity

Unity-ohjelmisto on pelimoottori, jolla pääsääntöisesti suunnitellaan tietokonepelejä, luodaan elokuva-animaatioita ja arkkitehtuurista virtuaalitodellisuutta. Reaaliaikainen visualisointi suoritetaan perinteisessä käyttöliittymässä ja mallien tarkasteleminen on mahdollista suorittaa virtuaalitodellisuustilassa. (18.)

Unity-ohjelmisto on suunniteltu useille sovelluksille. Ohjelma tukee yli 25 erilaista sovellusalustaa aina mobiilista konsoleihin. Ohjelma käyttää C++-moottoria (18.) Unity-ohjelma on yhteensopiva BIM-ohjelmien kanssa ja suora synkronointi on mahdollista Autodesk-ohjelmien kanssa (18.)

4 VIRTUAALITODELLISUUSLASIT VISUALISOINNISSA

Opinnäytetyössä tutkittiin Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslasien avulla ArchiCAD 21 -ohjelmalla mallinnettua arkkitehtuurista vapaa-ajan huvilan pienoismallia. Tutkimuslaitteistona olivat tehokas tietokone, Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslasit, liikesensorit sekä käsiohjaimet. (Kuva 6.)



KUVA 6. Oculus Rift -laitteisto (9)

Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota laitteen käyttöönoton mukavuuteen sekä siihen, kuinka hyvin virtuaalilasit esittävät rakenteiden materiaalit ja millaisen kokonaiselämyksen virtuaalilasit tarjosivat.

4.1 Pienoismallin korvaaja

Virtuaalitodellisuus voi vähentää fyysisten pienoismallien valmistamista rakennussuunnittelussa. Pienoismallia rakentaessa syntyy kustannuksia ja mahdollisten muutosten tekeminen jälkikäteen on vaikeaa. (15.)

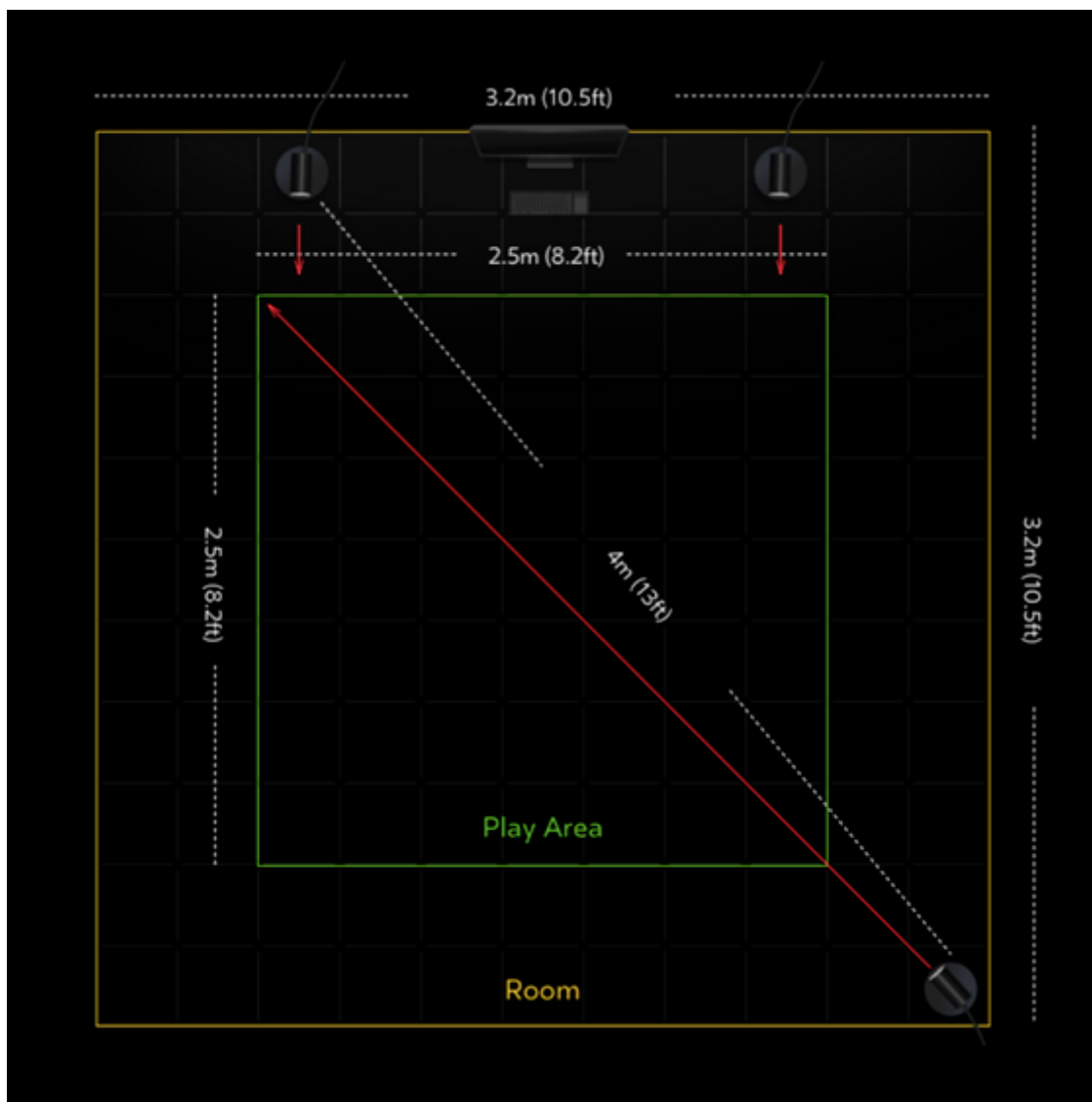
Virtuaalitodellisuutta käytettäessä 3D-pienoismallissa asiakkaalle voidaan antaa selvä yleiskäsitys rakenteilla tai vasta suunnitteluvaiheessa olevasta kohteesta. Virtuaalitodellisuudessa olevassa 3D-mallissa voidaan kävellä sen sisätiloissa ja kohteen tarkasteleminen kaukaa ja läheltä on helppoa. (15.)

Virtuaalitodellisuudessa 3D-mallista voidaan tarkastella myös näkymättömissä olevia kohteita, kuten sähkölinjoja, putkistoja tai kantavia rakenteita (15).

4.2 Käyttötilan suunnittelu

Oculus Rift -käyttöönottamiseen vaadittiin laitteen oma erillinen työpöytäsovellus ja se oli saatavilla Oculus Riftin kotisivuilta (3). Oculus-työpöytäsovellus asennettiin Windows 10 -käyttöjärjestelmälle ja asennuksen jälkeen laitteen käyttöönotto aloitettiin.

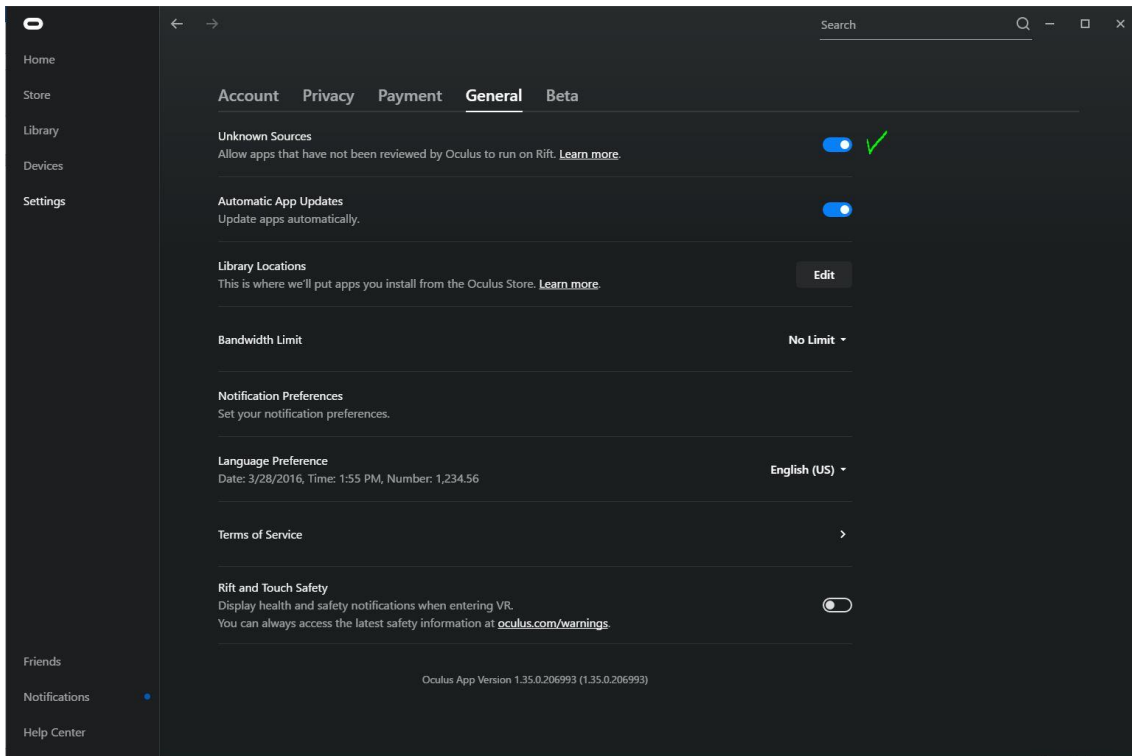
Liikesensorit asennettiin ohjeiden mukaisesti olohuoneeseen tv-tason päälle, jossa oli laitteenkäytön vaatima 2,5 m:stä 2,5 m:iin vapaatila (kuva 7). Virtuaalitodellisuuslasit asennettiin päähän ja säädettiin sopivaksi pään yli kulkevalla tarrahihnalla. Silmille oli laitteessa oma säätönäppäin, jolla silmien välin sai säädettyä käyttäjälle sopivaksi. Tärkeintä oli, että lasien välittämä kuva on mahdollisimman tarkka ja terävä.



KUVA 7. Kuvakaappaus Oculus Rift -käyttötilan suosituksesta

Oculus-työpöytäsovellus käynnistettiin tietokoneelta ja lopullinen virtuaalitodellisuuslasien säätäminen tapahtui laitteen sovelluksen kautta. Käyttömukavuudeltaan yksinkertainen opetusohjelma neuvoi virtuaalitodellisuuslasien kautta lopulliset säätötoimet, käsiohjaimien toiminnan sekä virtuaalisen turvallisuusverkon luomisen. Turvallisuusverkolla luotiin virtuaalinen alue, jossa käyttäjä voi turvallisesti liikkua törmäilemättä mihinkään virtuaalitodellisuuslaseja käyttäessä.

Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslaseja käytettäessä ulkopuolisissa ohjelmistoissa oli laitteen asetuksista hyväksyttävä tuntemattomat sovellukset -valinta (kuva 8).



KUVA 8. Tuntemattomat sovellukset

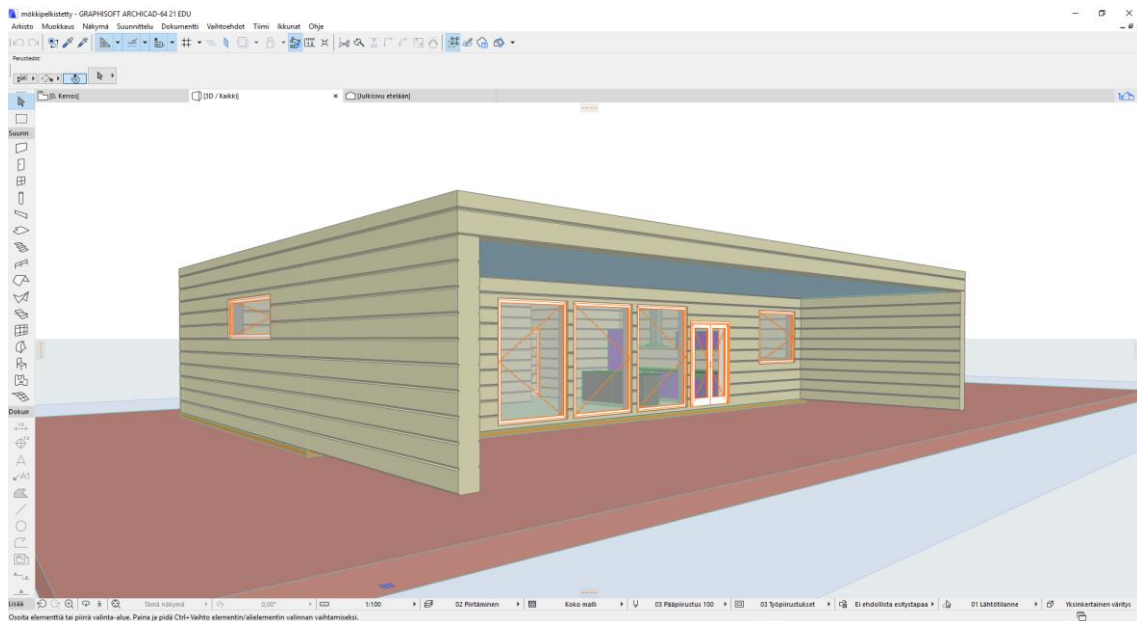
4.3 Visualisointi

Archicad 21 -ohjelmalla mallinnettiin 108 m²:n vapaa-ajan huvila (kuva 9).



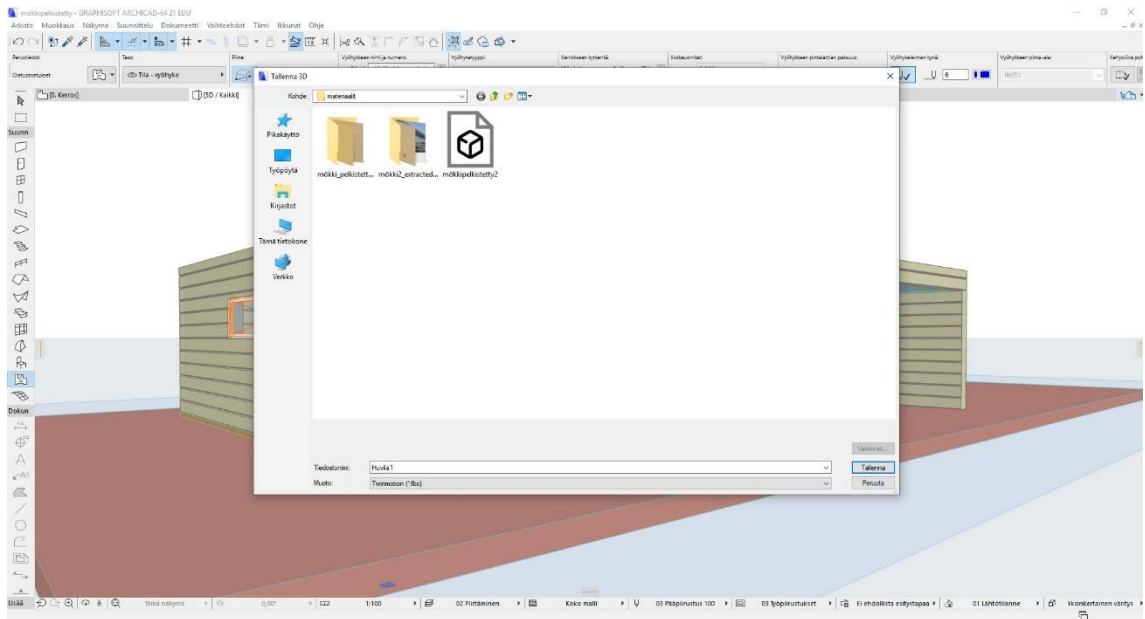
KUVA 9. Vapaa-ajan huvilan pohjapiirros

Työssä keskityttiin suurimmalta osin tuleviin visuaalisesti mahdollisiin asioihin. Rakennukseen mallinnettiin keittiö, ikkunat ja ovet, mutta muita objekteja ei tässä vaiheessa lisätty. Virtuaaliodellisuuslaseja varten rakennuksesta suunniteltiin muodoltaan mahdollisimman yksinkertainen. Näin varmistettiin, ettei mallista tullut graafisesti liian raskas testilaitteistoon nähden (kuva 10). Materiaalivalinnoissa täytyi olla tarkkana, jotta jokaisen objektin näkyvä pinta oli mallinnettu eri pintamateriaalilla. Twinmotion-ohjelma tunnisti materiaalit, mutta ei osannut erotella samaa pintamateriaalia käyttäviä objekteja yksittäisiksi. Tästä syystä pintamateriaaleiksi valittiin eri värisiä maaleja. Tällöin vältettiin ristiriitaisuudet mallin käännösvaiheessa Twinmotion-ohjelmalle.



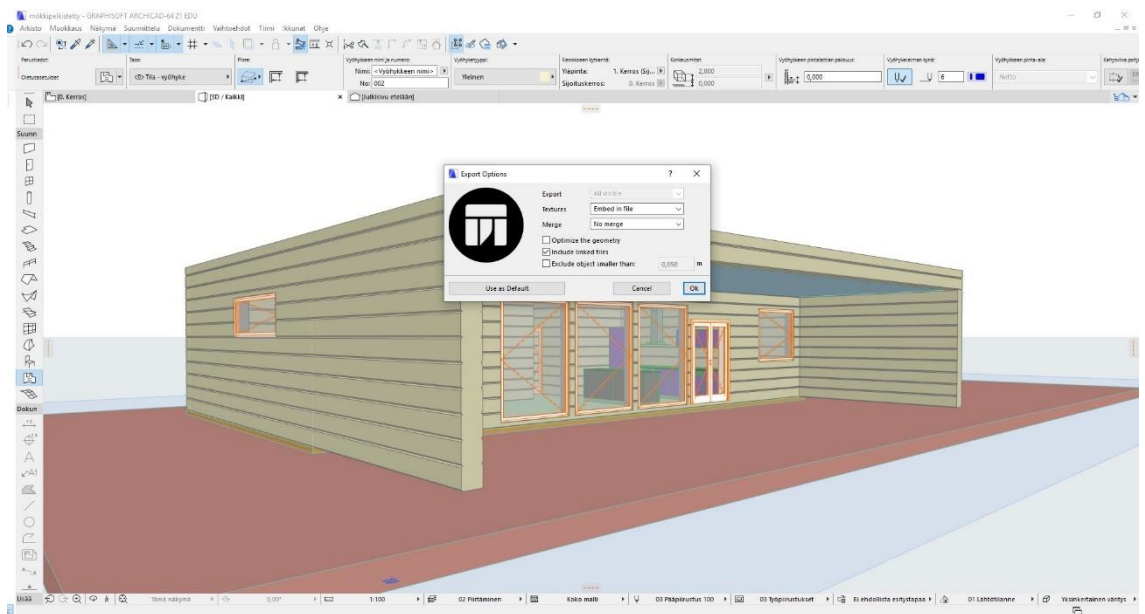
KUVA 10. Vapaa-ajan huvilan malli Archicad-ohjelmassa 3D-näkymässä

Archicad 22 -ohjelmalla mallinnettu vapaa-ajanhuvi tallennettiin 3D-näkymässä fbx-tiedostoksi Twinmotion-ohjelmaan siirtoa varten (kuva 11).



KUVA 11. Tallennusmuoto Archicad 21 -ohjelmassa

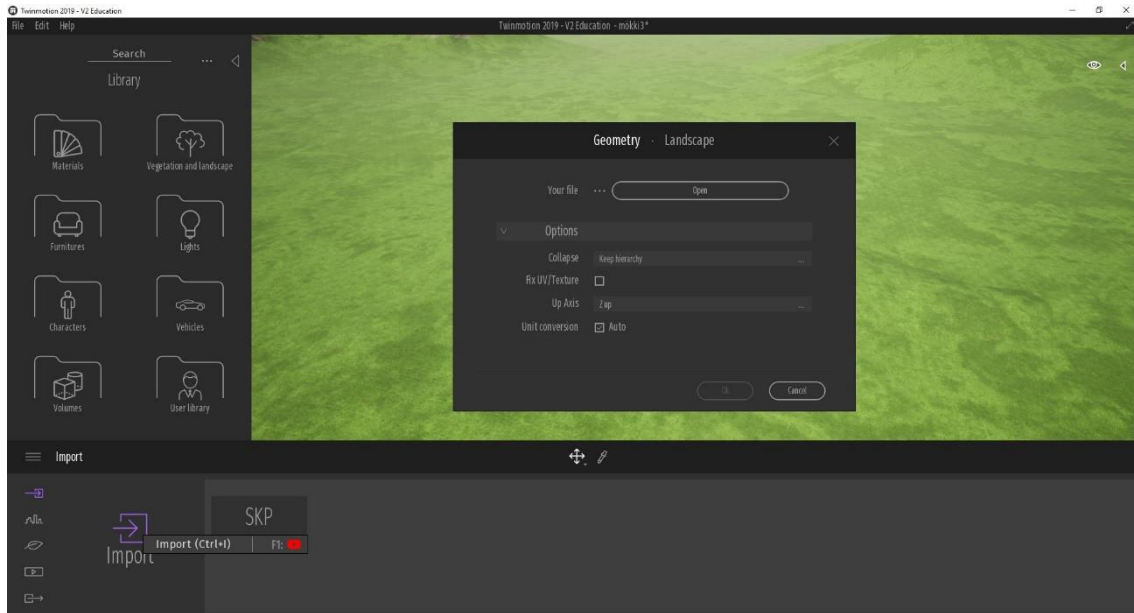
Vientiasetuksissa täytyi tarkastaa, että tekstuurien siirtovalinta oli asetettu oikein. Muilta osin vientiasetukset jätettiin alkuperäisiksi. (Kuva 12.)



KUVA 12. Vientiasetukset Archicad 21 -ohjelmassa

Rakennuksen lopullinen visualisointi suoritettiin Twinmotion-ohjelmassa. Visualisointi aloitettiin tuomalla Archicad 21 -ohjelmalla mallinnettu tiedosto Twinmotion-

ohjelmaan Import-välilehden kautta Tuontiasetuksiin ei tarvinnut tehdä muutoksia, koska geometrian yksiköt olivat molemmissa ohjelmissa samat. (Kuva 13.) Tekstureille ei tarvinnut tehdä korjaustoimenpiteitä, koska pintamateriaalit lisättiin vasta Twinmotion-ohjelmassa.



KUVA 13. Twinmotionin tuontiasetukset

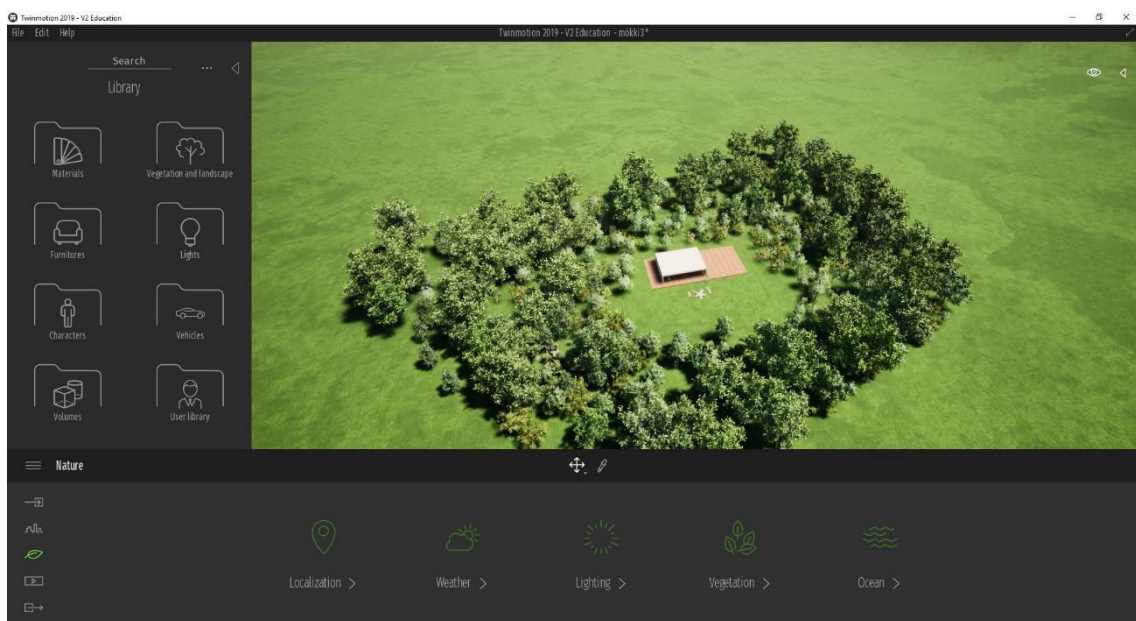
Twinmotion-ohjelmaan sisältyi kattava objekti-kirjasto materiaaleineen. Näitä hyödyntämällä rakennuksen ympärille luotiin metsä, nurmikko, kasveja sekä kiviä Näin virtuaalimaailmaan saatiin todellisuuden tuntua aidosta ympäristöstä. (Kuva

14.) Visualisointi suoritettiin Nature-välilehdellä Vegetation-toiminnon kautta.



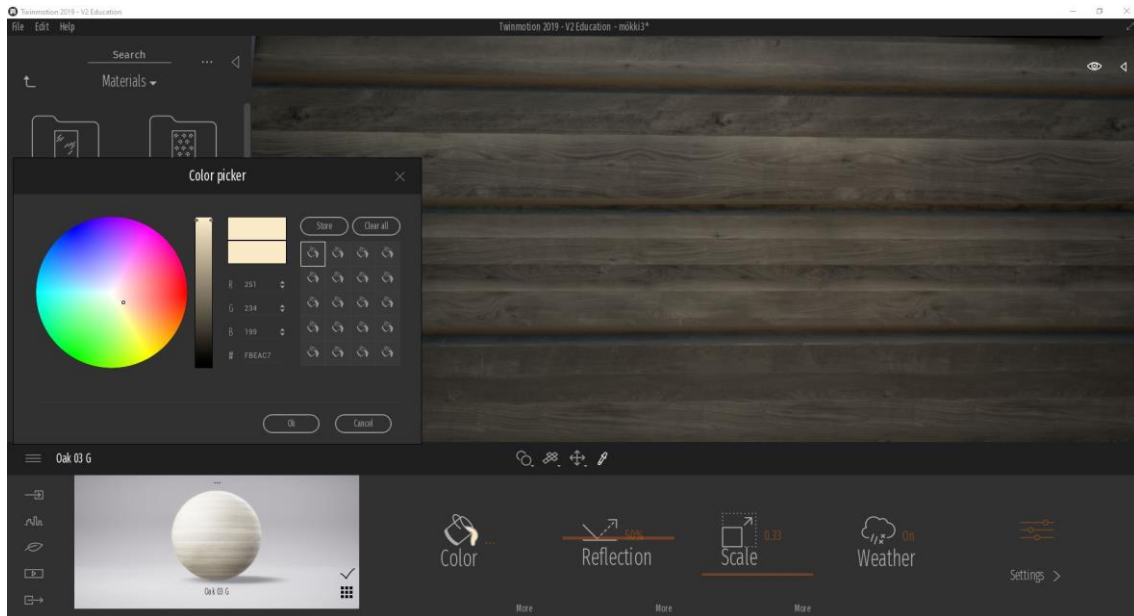
KUVA 14. Visualisoitu ympäristö

Kasvillisuutta lisättiin rakennuksen ympärille vain illuusion luomiseen tarvittava määrä (kuva 15). Liiallinen animoitujen objektien lisääminen kuormitti tietokoneen tehoa liiaksi, jolloin ruudunpäivitysnopeus putosi niin alas, että virtuaalitodellisuuslasien välittämä kuva havaittiin häiritsevästi nykivänä.



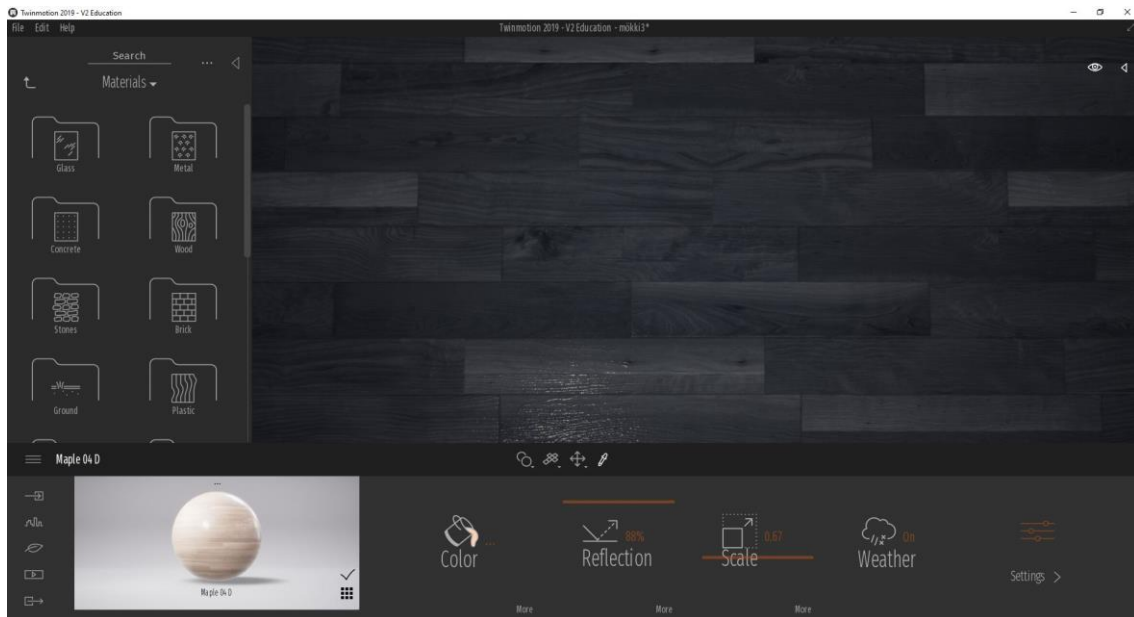
KUVA 15. Kasvillisuus rakennuksen ympärillä

Rakennuksen visualisointi aloitettiin lisäämällä seinälle pintamateriaali. Pintamateriaalille oli tärkeätä, että se muistuttaa mahdollisimman paljon luonnollista hirsipuuta. Scale-toiminnon avulla suoritettiin materiaalin viimeistely säätäminen, jotta materiaali istui seinäobjektiin luonnollisella tavalla. Useiden materiaalikokeilujen jälkeen päädyttiin Oak 30 G -pintamateriaaliin, joka sävytettiin Color-toiminnolla harmahtavaksi luoden hirrelle vanhan ajan ilmeen (kuva 16).



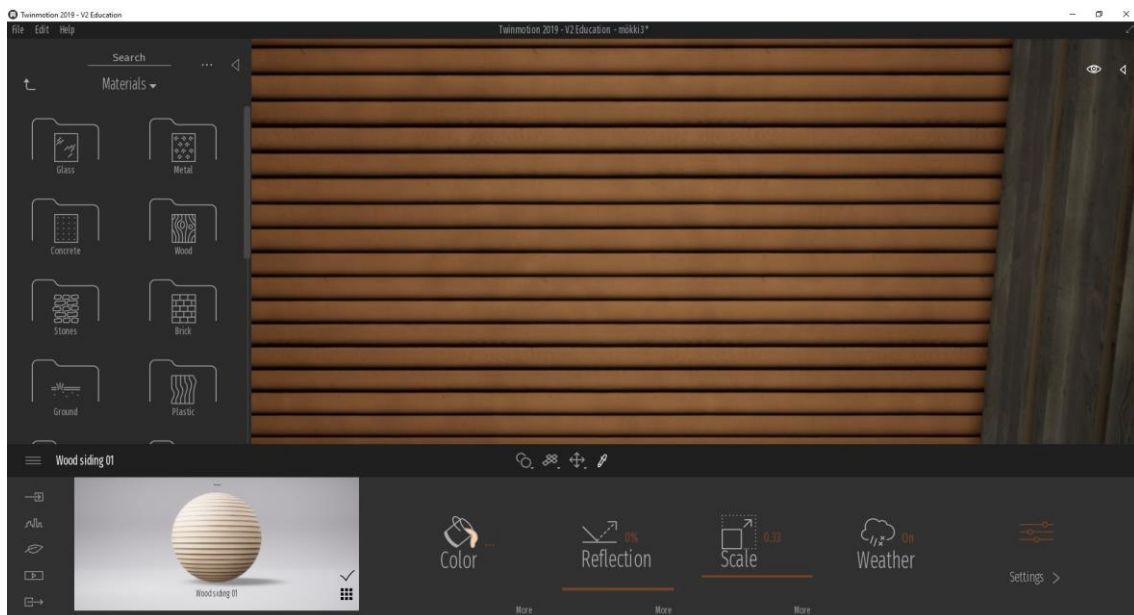
KUVA 16. Hirsiseinän materiaali

Lattiamateriaaliksi oli hyvä asettaa seinämateriaalista selvästi erottuva tekstuuri. Tummempi harmaa tammiparketti tuntui silmälle hyvältä, joten pintamateriaaliksi valittiin Twinmotion-ohjelman sisäisestä kirjastosta Maple 04 D -materiaali. Materiaalia tummennettiin Color-toiminnolla ja Scale-toiminnon avulla viimeisteltiin tekstuurin koko lattiaobjektiin. (Kuva 17.) Lattiamateriaalin kiiltoastetta voitiin säätää mattapinnasta aina lähes peilikirkkauteen. Tässä rakennuksessa haluttiin välttää liian kiiltäviä pintoja, joten puolihimmeä kiiltoaste tuntui sopivammalta.



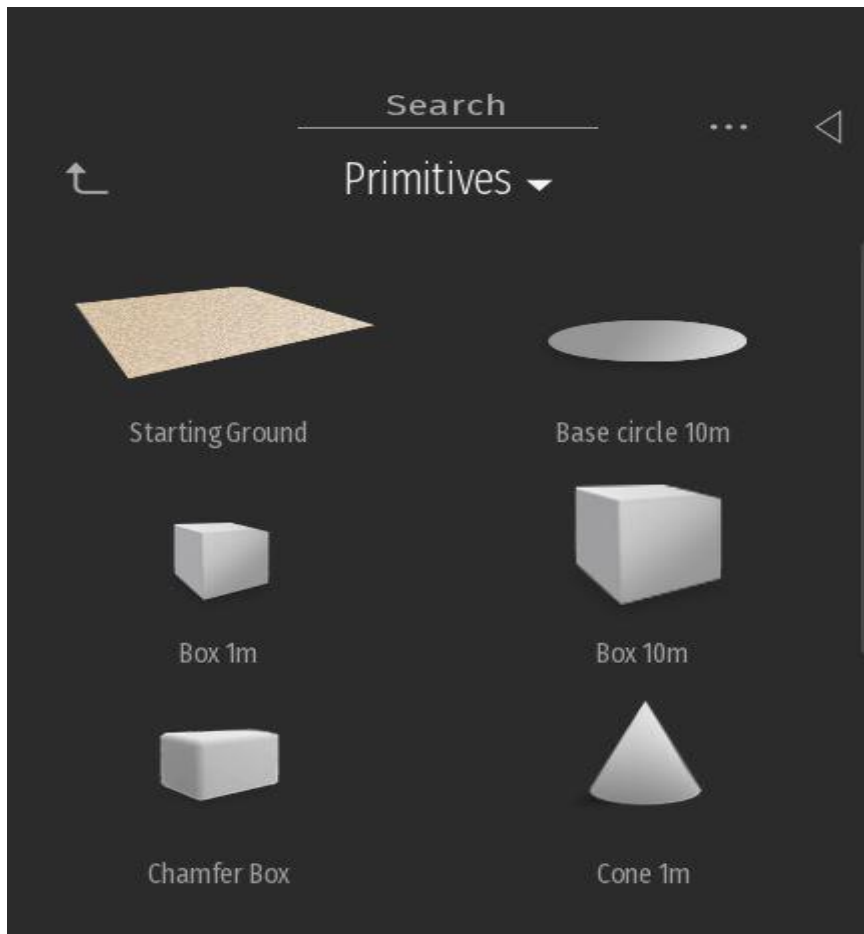
KUVA 17. Lattiamateriaalin valinta

Sisäkatonmateriaalin valinnalla oli suuri vaikutus rakennuksen kokonaisilmeeseen. Katon pintamateriaalin haluttiin jatkuvan yhtenäisenä terassille asti. Tällöin täytyi miettiä myös, miten materiaali istuu ympäristöön. Liian kirkas materiaalivalinta olisi erottunut liiaksi, kun taas liian tumma materiaali aiheuttaisi rakennukselle ahtaamman tuntuman. Kattomateriaaliksi valittiin paneelia tarkasti jäljittelevä tekstuuri. Kapea puupaneeli loi kontrastia leveälle seinähirrelle. Materiaaliksi valittiin Twinmotion-ohjelman sisäisestä kirjastosta Wood Siding 01 -pintamateriaali. (Kuva 18.)



KUVA 18. Kattopaneelin valinta

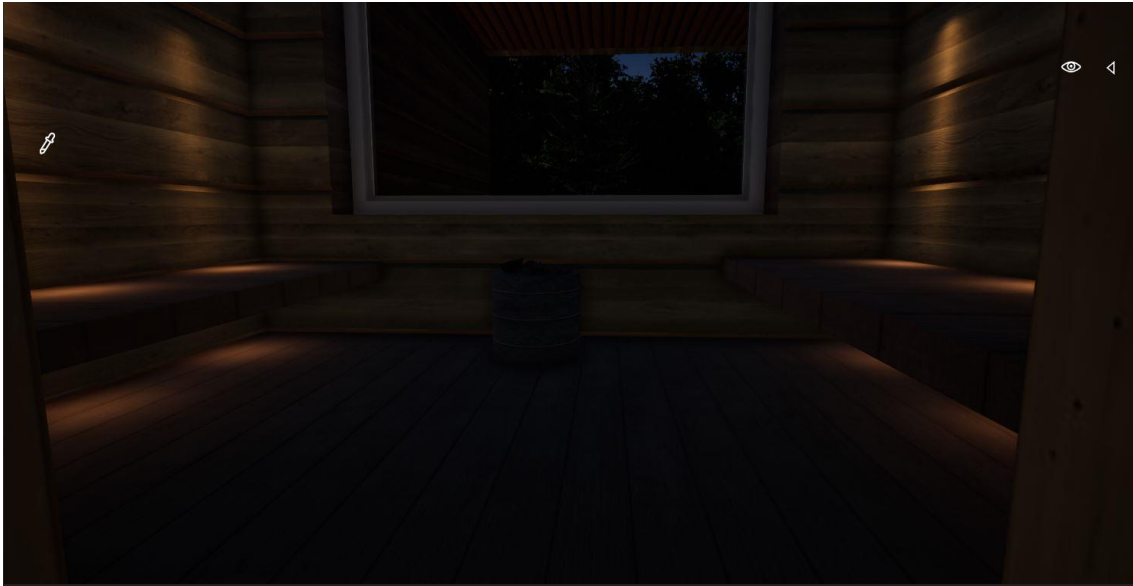
Kun rakennuksen pääelementtien materiaalivalinnat olivat selvillä, oli aika siirtyä wc-tilan sekä kylpytilojen visualisoimiseen. Saunaan ei mallinnettu Archicad 21 -ohjelmalla erillisiä seinäobjekteja eikä saunan sisustaa. Twinmotion-ohjelman objektit kirjastossa ei myöskään ollut saunan visualisointiin tarkoitettuja objekteja, joten saunanlauteet sekä kiuas täytyi mallintaa Twinmotion-ohjelman Primitives-objekteilla. (Kuva 19.) Lauteiden aihiksi valittiin box 1m -objekti, josta muokkamalla pituus, -leveys- ja syvyys suunnassa syntyivät saunanlauteet.



KUVA 19. Primitives-objektit

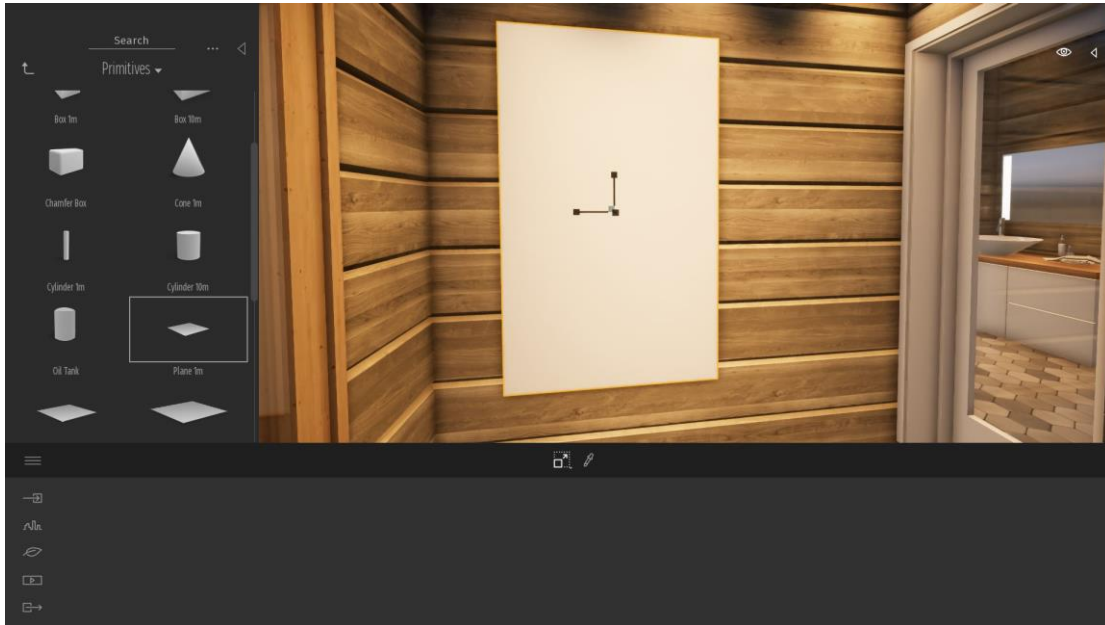
Lauteiden pintamateriaaliksi valittiin Twinmotion-ohjelman sisäisestä kirjastosta aitoa laudepuuta jäljittelevä Ash 01 B -materiaali. Saunan ikkuna tummennettiin Opacity-työkalua käyttäen, jotta saunaan syntyisi hieman hämärämpi tunnelma.

Lauteiden yläpuolelle lisättiin Light-kategoriasta kuusi kappaletta Spot-valoja. Valaistuksella oli suuri vaikutus siihen, kuinka näyttävä ja elävän näköinen tilasta syntyi. Myös kiuas mallinnettiin Primitives-objekteilla. Saunan seinämateriaali jätettiin aiemmin valitulle luonnollisen näköiselle hirsipuupinnalle. (Kuva 20.)



KUVA 20. Saunan sisusta ja valaistus

Pesuhuoneen seinät olivat Archicad 21 -mallinnuksen jäljiltä hirsirungolla, eikä pelkkä materiaalien lisääminen voinut olla mahdollista. Yhden hirsiseinän pintamateriaalin vaihtaminen muuttaisi kaikkien hirsiseinien materiaaleja. Tästä syystä hirsiseinän päälle luotiin Plane 1m -objektia käyttäen sisäseinä, johon pesuhuoneen pintamateriaalit voitiin asentaa. Plane 1m -objektia täytyi muokata venyttämällä sitä korkeus-, -pituus- ja leveyssuunnassa. (Kuva 21.) Objektia venytettäessä myös pintamateriaali venyi muodottomaksi, joten se muokattiin Scale-toiminnolla takaisin luonnollisiin mittoihin.



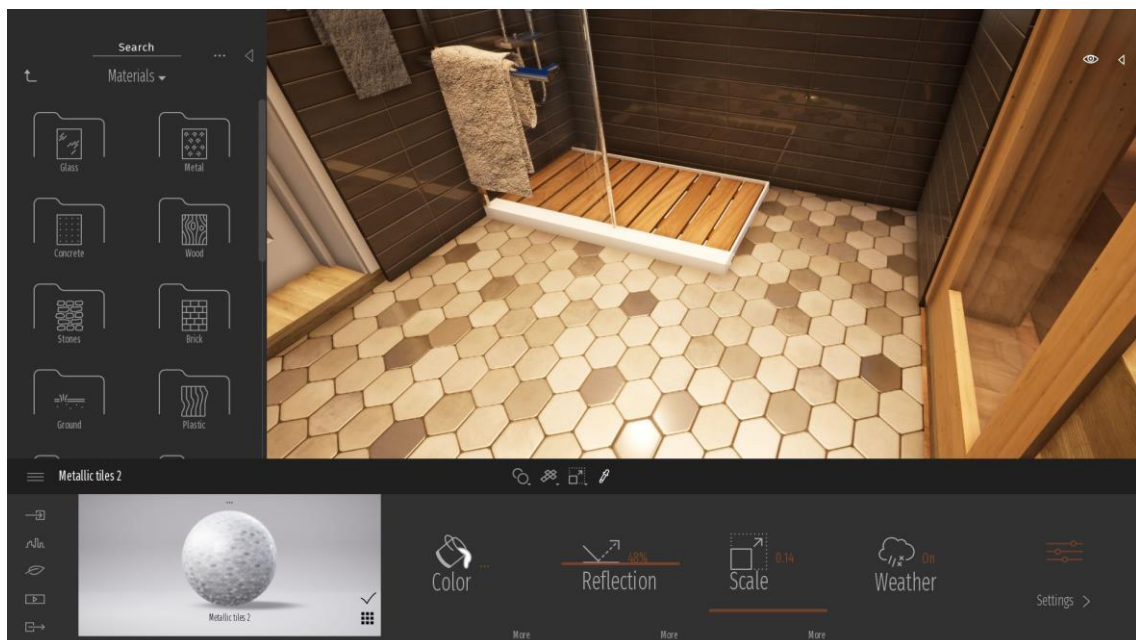
KUVA 21. Plane 1m -objektin muokkaus

Twinmotion-ohjelman sisäisessä materiaalikirjastossa oli useita vaihtoehtoja kylpyhuoneen seinä- sekä lattiamateriaaleiksi. Materiaalille oli tärkeää, että sen kiiltoastetta pystyi muokkaamaan. Valaistuksen ja kiillon vaikutus luonnollisen näköiselle seinälle oli todella suuri. Kylpyhuoneesta haluttiin myös hämärän oloinen tila, jotta se erottuisi selvästi muista tiloista virtuaalitodellisuuslaseja käytettäessä. Epäsuoraa valaistusta lisättiin tilaan Spot-valoilla, jotka asennettiin kattoon. Seinän pintamateriaaliksi valittiin tummalta laatoitukselta näyttävä Ceramic 3 tiles -tekstuuri. Laatoituksen Reflection-säätö nostettiin 100 %:iin kiiltävän laatan iluusion luomiseksi. (Kuva 22.)



KUVA 22. Kylpyhuoneen seinämateriaali

Lattian pintamateriaaliksi haluttiin hieman seinäpintoja himmeämpi tekstuuri. Perinteistä ruutukuviotakin haluttiin välttää, ettei kylpyhuoneen sisustasta tulisi liian tylsännäköinen. Twinmotion-ohjelman sisäisestä materiaalikirjastosta löytyi kohteeseen sopiva Metallic tiles 2 -tekstuuri, josta Color- sekä Reflection-säädöillä saatiin halutun näköinen pintamateriaali lattialle (kuva 23).



KUVA 23. Kylpyhuoneen lattiamateriaali

Kylpyhuoneeseen lisättiin Twinmotion-ohjelman sisäisen kirjaston Bathroom-valikosta Suihku-objekti ja tilaa sisustettiin pyyhäteline-objektilla.

Wc-tilan visualisointi suoritettiin samanlaisella ilmeellä kuin kylpyhuoneenkin. Wc-tilaan ei mallinnettu erillistä lattiaa Archicad 21 -ohjelmassa. Tästä syystä täytyi varsinaisen lattian päälle luoda uusi lattia materiaaleineen. Lattia mallinnettiin Twinmotion-ohjelman sisäisestä kirjastosta löytyvällä Primitives-objektilla. Plane 1 m -objekti venytettiin Scale-toiminnolla lattiaan sopivaksi laataksi, johon liitettiin pintamateriaali. Lattiamateriaaliksi valittiin sama Metallic tiles 2 -tekstuuri, jota käytettiin kylpyhuoneenlattiassakin. Valaistusta lisättiin tilaan kattoon asennettavilla Spot-valoilla. Valojen avulla materiaalien elävyyttä saatiin korostettua huomattavasti, minkä ansiosta virtuaalitodellisuuslaseille tuotettu illuusio näytti luonnolliselta ja aidolta. Wc-tilaa sisustettiin Twinmotion-ohjelman sisäisestä kirjastosta löytyvillä Bathroom-objekteilla. Allaskaapisto peileineen ja pienet yksityiskohdat loivat virtuaalitodellisuuslaseille vaikutelman aidosta tilasta. (Kuva 24.)



KUVA 24. Wc-tila

Keittiö mallinnettiin Archicad 21 -ohjelmassa ja sille luotiin pintamateriaalit valkoisesta maalista, jotka visualisoitiin lopulliseen olomuotoonsa Twinmotion-ohjelmalla. Modernikeittiö saarekkeineen muutti vapaa-ajan huvilan ilmettä nykyaikaisempaan suuntaan. Pintamateriaaleiksi haluttiin kiiltävän valkoista yhdistettynä tummaan marmoritasoon. Keittiönrungolle sekä kaapistoille valittiin Twinmotion-

ohjelman sisäisestä kirjastosta Bace context -materiaali. Rungon kiiltävyyssaste määritettiin Reflection-toiminnolla 5 %:iin, kun taas kaapistojen oville Kiiltävyyssaste nostettiin 100 %:iin. Näin saatiin samalla materiaalilla kaksi aivan erinäköistä pintaa. Keittiöntason pintamateriaaliksi valittiin tummaa marmorikiveä jäljittelevä Noisy Marble 03 C -materiaali. (Kuva 25.)



KUVA 25. Keittiö

Keittiötilan epäsuoralla valaistuksella oli suuri merkitys siihen, kuinka todentuntuiselta virtuaalitodellisuuslasit keittiönkaapistot näyttivät. Epäsuoravalaistus korosti puupintojen syvyysvaikutelmaa ja pintamateriaali näytti heräävän henkiin. Valaistus ei kuitenkaan saanut olla liian voimakas, koska muuten pinnoille syntyi häiritsevä ja epärealistinen hohto.

Makuuhuoneen visualisointi pidettiin yksinkertaisena. Tilaan luotiin elävyyttä ja todellisuudentuntua luonnollisenkokoisilla objekteilla. (Kuva 26.) Valaistuksella pintamateriaalit heräsivät virtuaalitodellisuudessa eloon ja kiiltoasteen säätämällä reflection-toiminnolla oli merkittävä ero siinä, kuinka todentuntuiselta materiaalit näyttivät.



KUVA 26. Makuuhuoneen sisustus

Lipaston materiaaliksi valittiin Bace context -materiaali, jonka kiiltoaste säädettiin 5 %:iin. Sänky-objektin materiaalit jätettiin alkuperäiseksi, mutta väriä vaihdettiin Color-toiminnolla punertavaksi. Taulu-objektia muokattiin kokonsa puolesta tilaan sopivaksi Scale-toiminnolla. Yöpöytä-objekti jätettiin alkuperäiseen kokonsa ja alkuperäiselle pintamateriaalille. Valaistukseksi luotiin yöpöydän lamppu. Alkuperäinen objekti oli tarkoitettu isoksi jalkalampuksi, joka kutistettiin Scale-toiminnolla vastaamaan yöpöydän lamppua. Lampun sisään asennettiin Spot light -valo, joka suunnattiin alaspäin, näin siitä saatiin realistisennäköinen valaisin.

Olohuone oli keskeisessä asemassa visualisointia. Tilan katseenvangitsijat olivat iso ruokapöytä astioineen sekä suuri vaalea sohva. Pienillä yksityiskohdilla saatiin tilaan lisättyä todellisuudentuntua. Suoranäkymä isoista ikkunoista ulkotilaan lisäsi olohuonetilan realistisuuden tunnetta. (Kuva 27.)

Sisustus-objektit valittiin Twinmotion-ohjelman sisäisestä kirjastosta, lukuun ottamatta tv-tasoa, joka mallinnettiin jo Archicad 21 -ohjelmalla. Sohvan pintamateriaali näytti alkuperäisenäkin hyvältä, joten sitä ei tarvinnut muuttaa. Color-toiminnolla sohvan kankaan väri kuitenkin muutettiin lähes valkoiseksi. Ruokaryhmän tuolit värjätettiin Color-toiminnolla mustaksi ja pöytätason pintamateriaaliksi valittiin tilan muihin pintoihin harmonisesti sopiva Ash 01 B -tekstuuri.



KUVA 27. Olohuone

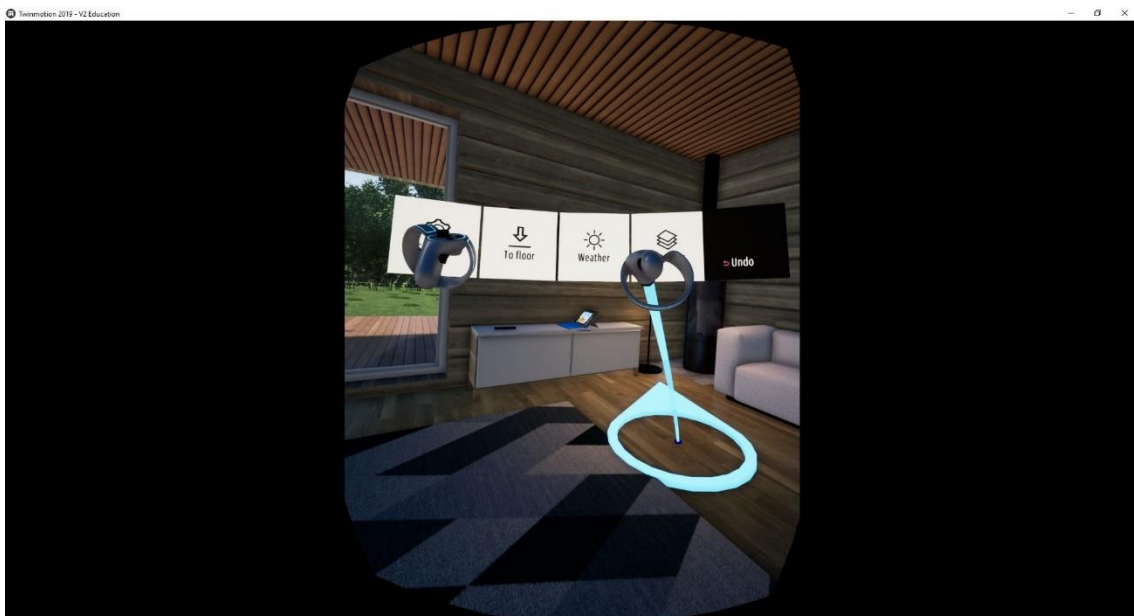
4.4 Virtuaalitodellisuuslasien käyttökokemus

Twinmotion-ohjelman kääntäminen virtuaalitodellisuuslasien käyttötilaan tapahtui helposti. Oikealla yläkulmassa olevaa silmäkuvaketta klikkaamalla avautui valikko, josta pystyi valitsemaan VR-tilan. (Kuva 28.) Virtuaalitodellisuustilan käynnistyttyä kuva välittyi Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslaseihin.



KUVA 28. VR-tila Twinmotion-ohjelmassa

Liikkuminen virtuaalitodellisuuslaseja käyttäessä tapahtui Teleport-toiminnolla oikean käsiohjaimen peukalonapista. Peukalonnappia painettaessa ilmestyi sininen kuvake, jonka avulla pystyi osoittamaan halutun siirtymispaikan. Myös käyttäjän kehon suunnan määrittäminen tapahtui kyseisellä toiminnolla. (Kuva 29.) Tilan ja esineiden tarkasteleminen oli kuitenkin mahdollista Free look -tilassa, eli katsetta voitiin kohdistaa kääntelemällä päätä mihin suuntaan tahansa. Teleport-toimintolla pyrittiin vähintämään mahdollista pahoinvointia, minkä virtuaalitodellisuuslasien käyttö voi aiheuttaa.



KUVA 29. Kuvakaappaus virtuaalitodellisuuslasien käytöstä Twinmotion-ohjelmassa

Valikko-näkymä ilmestyi näkökenttään vasemman käsiohjaimen x-näppäimestä. Valikko-näkymästä pystyi säätämään virtuaalitodellisuuden valaistusta. Weather-toiminnolla valittiin haluttu vuorokauden ajankohta. Weather-toiminto olikin yksi hienoimmista asioista Twinmotion-ohjelmassa. Vuorokauden aikaa säätämällä auringonvalon suuntaa pystyi helposti säätämään. Aamun kajon kullankeltaisen valon kajastaessa isoista olohuoneen ikkunoista loi pinnoille mahtavan efektin. Ilta-auringon hämäryys ja sisäpinnoille tehdyt valaistukset herättivät rakennuksen eloon. Kontrastierot eri materiaaleilla olivat päätekijöinä. (Kuva 30.)



KUVA 30. Ilta-aurinko Twinmotion-ohjelmassa

Materiaalit piirtyivät Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslaseihin hyvällä kuvanlaadulla ja etenkin puupintoja jäljittelevät materiaalit toimivat loistavasti virtuaalitodellisuuslaseilla. Heikoimmin näkyvät pintamateriaalit olivat kiiltävät maalatut pinnat sekä metallia jäljittelevät tekstuurit. Varsinainen kiilto puuttui ja pinnat heijastivat vain epämääräisesti lähimmäisenä olevan esineen valoa, vaikka Reflection-asetus oli 100 %. Keittiön kaapistojen reunoissa oli myös havaittavissa sahalaitaisuutta ja vilkettä.

Jotta virtuaalisesta esittelystä olisi saanut nauttia pitempään, Archicad 21 -ohjelmalla mallinnettu rakennus olisi saanut olla kooltaan isompi. Virtuaalitodellisuuslaseja käyttäessä mallin tutkimiseen läpikotaisin ei mennyt kokonaisuudessaan kovin kauan aikaa. Rakennus olisi saanut olla kaksikerroksinen, jolloin virtuaalitodellisuuslaseja käyttäessä olisi voinut kokea myös korkeuseroja. Suuret ikkunat loivat kuitenkin paljon tilan tuntua virtuaalitodellisuuslaseja käytettäessä.

Liikkuminen Teleport-toiminnolla ovien ja seinien lävitse heikensi ikävästi realismia. Pahoinvointia tai päänsärkyä ei virtuaalitodellisuuslaseja käyttäessä tullut, joten kuvanlaatu ja ruudunpäivitysnopeus oli riittävä. Katsetta käännellessä kuva välittyi virtuaalitodellisuuslaseihin nopeasti ja ilman katkoksia.

5 POHDINTA

Opinnäytetyössäni tutkin virtuaalitodellisuuslasien käyttöä ja sitä, miten virtuaalitodellisuutta voidaan käytännössä hyödyntää eri aloilla, esimerkiksi teollisuudessa, lääketieteessä, arkkitehtuurissa ja eri muotoisissa koulutuksissa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kattava tietopaketti virtuaalitodellisuuslasien käytöstä arkkitehtuurisessa visualisoinnissa. Virtuaalitodellisuuslaseja testasin ArchiCAD 21 -ohjelmalla mallinnetulla omakotitalolla. Kohteen varsinaisen visualisoinnin suoritin Twinmotion-ohjelmalla sekä kohteen virtuaalitodellisuutta testasin Oculus Rift -virtuaalitodellisuuslaseilla.

Kokonaisuudessaan käytin paljon aikaa tekniikan teoriaosuuden tutkimiseen ja kirjoittamiseen. Tutkimisen sijaan minulla olisi kannattanut sijoittaa enemmän aikaa virtuaalitodellisuuslasien testaamiseen sekä varsinaisen mallinnuskohteen visualisoinnin viimeistelyyn. Teoriaosuudesta tulikin kattava koonti erilaisten virtuaalitodellisuuslasien käyttöön ja tekniikkaan liittyvistä asioista. Näitä tietoja käyttämällä on helppo suunnitella ja valita, millaiset lasit mihinkin käyttötarkoitukseen sopivat.

Opinnäytetyöni luotettavuutta tukee se, että pääsin itse testaamaan ja kokemaan virtuaalitodellisuuslasien käyttöä arkkitehtuurisessa visualisoinnissa. Kuitenkin virtuaalitodellisuuslaseilla käytettävät ohjelmat eivät olleet samoja kuin rakennusarkkitehdin opintosuunnitelmaan kuului. Näin ollen olisin tarvinnut ohjelmistosuunnittelijoiden tai pelisuunnittelijoiden apua Twinmotion-ohjelman käytöstä. Olen kuitenkin erittäin tyytyväinen siihen, että sain käännettyä ArchiCAD 21 -mallin toimivaksi virtuaalitodellisuuslasien käyttöä varten.

Laajan teoriakatsauksen läpikäyneenä opin virtuaalitodellisuudesta todella paljon ja uskon siitä olevan hyötyä tulevaisuudessa omalla alallani. Työn edetessä haasteita syntyi etenkin kohdemallin toiminnassa virtuaalitodellisuuslaseilla. Jatkokokehitysehdotuksenani on virtuaalitodellisuuslasien käytön ja tarvittavien ohjelmistojen opettaminen tulevaisuudessa tällä alalla.

LÄHTEET

1. Virtuaaliodellisuus - Tulevaisuus on täällä tänään. 2016. Tieteen kuvalehti. Saatavissa: <https://tieku.fi/teknologia/vempaimet/virtuaaliodellisuus>. Hakupäivä 6.1.2019.
2. Pänkäläinen, Tero 2017. Virtuaalilasit – Esittelyssä 6 parasta mallia. Virtuaaliodellisuus suomessa. Saatavissa: <https://www.virtuaalimaailma.fi/virtuaalilasit/>. Hakupäivä 9.1.2019.
3. Oculus. Saatavissa: <https://www.oculus.com/rift>. Hakupäivä 11.1.2019.
4. Pänkäläinen, Tero 2017. Virtuaaliodellisuus – 108 miljardin markkina vuonna 2021. Virtuaaliodellisuus suomessa. Saatavissa: <https://www.virtuaalimaailma.fi/virtuaaliodellisuus/>. Hakupäivä 16.1.2019.
5. Mullistavatko AR- ja VR-lasit tulevaisuuden opetus- ja koulutuskentän. 2017. Koulutus. Saatavissa: <https://www.koulutus.fi/oppaat/ar-ja-vr-lasit-opetus-ja-koulutuslalla-12931>. Hakupäivä 16.1.2019.
6. Virtuaaliodellisuus tuo konkarit aloittelijoiden avuksi huoltotoissa. KIRA-digi. Saatavissa: <http://www.kiradigi.fi/ajankohtaista/virtuaaliodellisuus-tuo-konkarit-aloittelijoiden-avuksi-huoltotoissa>. Hakupäivä 16.1.2019.
7. Varjo Raises \$31m Series B from Atomico to Transform Heavy Industry with World's First Human-Eye Resolution VR Product. Varjo. Saatavissa: <https://varjo.com/press-release/varjo-raises-31m-series-b-from-atomico-to-transform-heavy-industry-with-worlds-first-human-eye-resolution-vr-product>. Hakupäivä 16.1.2019.
8. Lappalainen, Elina 2018. Suomalaisen vr-startup Varjon tuote keräsi kymmenien miljoonien sijoituksen – "Eurooppa on menettänyt paikkansa". Tifi. Saatavissa: <https://www.tivi.fi/uutiset/suomalaisen-vr-startup-varjon-tuote-kerasi-kymmenien-miljoonien-sijoituksen-eurooppa-on-menettanyt-paikkansa/095adf04-4b43-31fd-a8de-20568d81d45b>. Hakupäivä 17.1.2019.

9. Rift. Yleiskatsaus. Oculus. Saatavissa: <https://www.oculus.com/setup/>. Hakupäivä 18.1.2017.
10. Oculus Rift -virtuaalilasit + Oculus touch -peliohjaimet. Verkkokauppa.com. Saatavissa: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/20106/jndxx/Oculus-Rift-virtuaalilasit-Oculus-touch-peliohjaimet>. Hakupäivä 4.2.2019.
11. Ihmisen-aistit. Tripod. Saatavissa: <http://ihmisenaisti.tripod.com/nako-aisti.htm>. Hakupäivä 4.2.2019.
12. Aaltonen, Mikko 2017. 360 ääni, kolmiulotteinen ääni, surround-ääni, spatial audio - Mitä on tilääni. 360teekki. Saatavissa: <https://www.360teekki.com/single-post/mit%C3%A4-on-tila-%C3%A4ni>. Hakupäivä 4.2.2019.
13. HTC. Saatavissa: <https://www.vive.com/eu/product/>. Hakupäivä 22.3.2019.
14. VR-pelaaminen - näin saat pelitietokoneesi virtuaalikuntoon. Gigantti. Saatavissa: <https://www.gigantti.fi/cms/pelitietokone-vr-kuntoon/vr-pelaaminen-nain-saat-pelitietokoneesi-virtuaalikuntoon/>. Hakupäivä 22.3.2019.
15. Pänkäläinen, Tero 2017. Virtuaalitodellisuus-rakentaminen, arkkitehtuuri ja suunnittelu. Virtuaalitodellisuus suomessa. Saatavissa: <https://www.virtuaalimaailma.fi/virtuaalitodellisuus-rakentaminen-arkkitehtuuri-suunnittelu/>. Hakupäivä 22.3.2019.
16. Twinmotion 2019. Abvent. Saatavissa: <https://twinmotion.abvent.com/en/>. Hakupäivä 22.3.2019.
17. Unreal Engine. Saatavissa: <https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>. Hakupäivä 22.3.2019.
18. Unity 3D. Saatavissa: <https://unity3d.com/unity>. Hakupäivä 22.3.2019.

