



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Innanen

CAD-mallien käyttö Unreal Engine 5 -virtuaalitodellisuudessa

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Joni Innanen

Työn nimi: CAD-mallien käyttö Unreal Engine 5 -virtuaalitodellisuudessa

Ohjaaja: Samuel Suvanto

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 50

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää mahdollisimman optimaalinen keino hyödyntää valmiita CAD-malleja Unreal Engine 5 -pelimoottorilla virtuaalitodellisuudessa. Opinnäytetyötä aloitettaessa Epic Games oli juuri julkaissut Unreal Engine 5.3.2 version pelimoottorista, ja se valikoitui alustaksi opinnäytetyöhön kehittyneiden ominaisuuksien ja hyvien tulevaisuuden näkymien vuoksi. Työn teoriaosuudessa käydään läpi muun muassa eri alustojen vertailua, yleisimpiä ongelmia ja riskejä CAD-mallien käytöstä pelimoottoreissa sekä esitellään valittua alustaa. Käytännön osuudessa perehdytään siihen, miten CAD-malleja voidaan tuoda Unreal Engine 5 -pelimoottoriin käyttäen kahta eri menetelmää. Ensimmäinen tapa korostaa suorituskykyä ja visuaalista laatua. Tässä tavassa kappale käsitellään niin kuin se tulisi loppukäyttöä varten optimoida sulavaa virtuaalitodellisuuskokemusta varten. Tämä tapa voi olla aikaa vievä, mutta se on käytännössä välttämätön, jotta virtuaalitodellisuuskokemus ei kärsisi. Toisena tapana opinnäytetyön lopussa sen käytännön osiossa perehdytään tarkemmin siihen, miten kappale voidaan tuoda Unreal Engine 5 -pelimoottoriin 3D-skannauksen avulla ja missä vaiheessa se on kehityksen osalta.

Yhteenvetona opinnäytetyö osoittaa, että Unreal Engine 5 -pelimoottori on erinomainen työkalu realistisen ja suorituskykyisen virtuaalitodellisuusalustan luomiseen, kunhan työlle annetut resurssit kohtaavat halutun laadun ja odotetun suorituskyvyn. Lisäksi opinnäytetyö osoittaa, että taiteellisten ohjelmien käyttö voi tuoda suurta lisäarvoa prosessiin mahdollistamalla CAD-mallien kevennyksen ja sitä kautta myös suorituskykyisen ja visuaalisesti laadukkaan virtuaalitodellisuusympäristön. Opinnäytetyössä ei oteta kantaa Unreal Enginen ohjelmointiin, vaan se käsittelee kappaleen integrointia, optimointia ja käsittelyä.

¹ Asiasanat: CAD, VR, Virtuaalitodellisuus, Unreal Engine

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Product Engineering

Author: Joni Innanen

Title of thesis: Using CAD-models in Unreal Engine 5 virtual reality.

Supervisor: Samuel Suvanto

Year: 2024

Number of pages: 50

Number of appendices: 0

The purpose of the thesis was to determine the most optimal way to utilize pre-existing CAD models with the Unreal Engine 5 game engine in virtual reality. At the time of writing the thesis, Epic Games had just released version 5.3.2 of the Unreal Engine, which was used as the platform for virtual reality due to its advanced features and promising prospects in the near future. The theoretical part of the work included a comparison of different platforms, the most common problems and risk associated with using CAD models in game engines and an introduction to the chosen platform. In the practical part, the process was studied in detail of how CAD models could be imported into the Unreal Engine 5 game engine using several different methods. The first method emphasized performance and visual quality. In this method, the piece was processed as it would be for end use. This approach could be time-consuming but was essential to ensure that the virtual reality experience would not suffer. At the end of the practical section, a closer examination was conducted on how CAD models could be imported into the Unreal Engine 5 game engine using other methods such as 3D scanning.

In summary, the thesis demonstrated that the Unreal Engine 5 game engine was an excellent tool for creating a realistic and high-performance virtual reality platform, provided that the resources allocated for the work would meet the desired quality and expected performance. Furthermore, the thesis showed that the use of artistic programs could add significant value to the process by enabling the simplification of CAD models, thereby also allowing for a performance-efficient and visually high-quality virtual reality environment. The thesis did not address the programming of Unreal Engine, but rather dealt with the integration and processing through all possible alternative ways.

¹ Keywords: CAD, VR, Virtual Reality, Unreal Engine

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuvaluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	14
1.1 Opinnäytetyön tavoitteet.....	14
1.2 Keskeiset aiheet ja kysymykset.....	14
1.3 Aiheen rajaus	14
1.4 Opinnäytetyössä testatut ohjelmistot.....	15
1.5 Pohdintaa Unreal Enginestä.....	16
1.6 Lisenssi	17
1.7 Motiivi	17
2 TEORIA.....	19
2.1 Mitä on virtuaalitodellisuus	19
2.2 Tietoa virtuaalilaseista	20
2.3 Valittu alusta ja esittely	21
3 KÄYTÄNTÖ	22
3.1 CAD-mallien redusointi ja integrointi Unreal Engineen	22
3.1.1 Valitut ohjelmistot.....	22
3.1.2 Tiedostomuotojen valinta ja datan katoaminen	22
3.1.3 Mallin integrointi 3ds Max-ohjelmaan	24
3.1.4 Mallin redusointi 3ds Max-ohjelmalla	26
3.1.5 ProOptimizer	30
3.1.6 Mallin siirto Unreal Engineen	33
3.1.7 Ongelmat ja ratkaisut	39
3.1.8 Topology ja Retopology	39
3.1.9 Teksturointi	41

3.2	Vaihtoehtoinen keino.....	44
3.2.1	Reverse engineering, 3D-skannaus.....	44
3.2.2	3D-skannauksen hyödyt ja haitat.....	45
3.2.3	Tulevaisuuden näkymät 3D-skannaukselle.....	45
3.2.4	Luma AI, 3D-skannaus	45
4	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	47
	LÄHTEET	48

Kuvaluettelo

Kuva 1. Unreal Engine 5 virtuaalitodellisuuspohja.....	16
Kuva 2. Virtuaalilasit.	20
Kuva 3. Solid Edge 2023 -ohjelmassa mallinnettu objekti.....	23
Kuva 4. Solid Edge 2023 -ohjelmassa mallinnettu objekti	23
Kuva 5. 3ds Max -ohjelmaan tuotu objekti	24
Kuva 6. STEP-tiedoston tuontiasetukset 3ds Max -ohjelmaan	25
Kuva 7. 3ds Max -ohjelman statistiikka-asetuksien avaaminen	27
Kuva 8. 3ds Max -ohjelman statistiikka-asetukset	28
Kuva 9. 3ds Max -ohjelman statistiikka-asetukset	28
Kuva 10. 3ds Max -ohjelman irrallaan olevien verteksien yhdistäminen	29
Kuva 11. 3ds Max -ohjelman ProOptimizer-työkalu	30
Kuva 12. ProOptimizer-työkalun asetukset.....	31
Kuva 13. Modifierin hyväksyntä objektiin 3ds Max -ohjelmassa	32
Kuva 14. 3ds Max -ohjelman objektin vientivalikko	33
Kuva 15. 3ds Max -ohjelman objektin vientivalikko	34
Kuva 16. Unreal Engine Project Browser -valikko.....	35
Kuva 17. Unreal Enginen tarjoama VR-pohja	35
Kuva 18. Unreal Enginen content browser.....	36
Kuva 19. Unreal Engine FBX-mallin tuontiasetukset	37
Kuva 20. Unreal Engineen tuotu objekti.....	38

Kuva 21. Esimerkki objekti Unreal Engineissä.....	38
Kuva 22. 3D-skannatun kappaleen mesh-verkosto	39
Kuva 23. 3D-skannatun kappaleen mesh-verkosto Retopology-käsittelyn jälkeen	40
Kuva 24. Automotive Materials tekstuurikirjasto	41
Kuva 25. Vääristyneet UV-rakenteet.....	42
Kuva 26. Siistit UV-rakenteet.....	42
Kuva 27. Unreal Engine UV-Editori.....	43
Kuva 28. Bump mapping -tekniikan vertailua	44
Kuva 29. Luma AI -sovelluksella 3D-skannattu malli	46

Käytetyt termit ja lyhenteet

3ds Max	3ds Max on Autodesk-yhtiön kehittämä 3D-mallinnus ja animaatio-ohjelmisto. Se on suunniteltu erityisesti ammattilaisille ja taiteilijoille 3D-grafiikan luomiseen, kuten mallintamiseen, teksturointiin, animointiin ja renderöintiin. 3ds Max on yksi suosituimmista 3D-suunnitteluohjelmistoista ja sitä käytetään laajalti monilla eri aloilla, kuten pelisuunnittelussa, arkkitehtuurissa, tuotesuunnittelussa ja mainosalan grafiikassa. Opinnäytetyössä 3ds Maxia käytettiin CAD-mallien konvertointiin Unreal Engine-pelimoottorille sopivaan muotoon.
AR	AR eli Augmented Reality tarkoittaa teknologiaa, joka rikastuttaa olemassa olevaa ympäristöä. Esimerkki AR-laitteesta voisi olla erilaiset puhelinsovellukset, joiden avulla käyttäjä näkee puhelimen kameran kautta 3D-objektin oikeassa maailmassa puhelimen ruudulla.
Assetti	3D-mallinnuksessa termi assetti tarkoittaa 3D-mallinnuksella tuotettuja objekteja. Nämä objektit voivat olla joko staattisia tai dynaamisia. Staattinen Assetti pysyy muuttumattomana eikä se reagoi käyttäjän toimiin, kun taas dynaaminen Assetti on käyttäjän kanssa interaktiivinen ja se voi muuttua automaattisesti sille määriteltyjen sääntöjen mukaisesti.
Blender	Blender on avoimen lähdekoodin 3D-grafiikkasovellus, joka mahdollistaa monipuolisen 3D-suunnittelun. Sen avulla voidaan luoda muun muassa 3D-mallinnusta, animointia ja renderöintiä. Blender on ilmainen, mutta monimutkainen käytettävyydeltään uusille käyttäjille.
CAD	Computer-Aided Design eli CAD tarkoittaa tietokoneohjelmistoa, joka auttaa insinöörejä ja arkkitehtejä suunnittelemaan ja piirtämään teknisiä piirroksia ja 3D-malleja digitaalisesti. Tällaisia

ohjelmistoja ovat esimerkiksi Autodesk AutoCAD, Siemens Solid Edge ja PTC Creo.

Edge count	Edge count eli reunojen määrä. Kolmiomaisessa polygonissa on kolme reunaa, joten sen edge count on kolme.
Epic Games	Epic Games on yhdysvaltalainen yritys, joka tunnetaan parhaiten Unreal Engine -pelimoottorista. Se on kasvanut yhdeksi merkittävimmistä toimijoista peliteollisuudessa.
Full Dive VR	Full Dive VR tarkoittaa virtuaalitodellisuutta, joka tarjoaa käyttäjille täydellisen ja immersiiivisen kokemuksen, jossa kaikki aistit, kuten näkö, kuulo, tunto, maku ja haju, pyritään simuloimaan niin todentuntuaisesti kuin mahdollista. Täydellistä Full Dive VR -kokemusta ei ole vielä opinnäytetyötä kirjoitettaessa maailmassa saavutettu.
Konvertointi	Konvertointi tarkoittaa tiedoston muuntamista muodosta toiseen. Konvertointi on tässä opinnäytetyössä oleellinen vaihe CAD-mallien konvertoinnissa sopivaan muotoon Unreal Engineen.
LOD	LOD eli level of detail on käsite, jota käytetään erityisesti pelikehityksessä. LOD tarkoittaa objektin tai näkymän yksityiskohtaisuuden säätämistä etäisyyden mukaan. Kaukana olevat kohteet esitetään yksinkertaisemmin, säästäten suorituskykyä, kun taas lähempänä olevat esineet ovat yksityiskohtaisempia. Tämä säästää tietokoneen resurssien käyttöä ja parantaa suorituskykyä.
Luma AI	Luma AI on puhelinsovellus, joka mahdollistaa 3D-mallien luomisen valokuvista tai videosta. Lisäksi sovellus tukee 360 asteen kameroiden käyttöä suurten tilojen kartoittamiseen.
Lumen	Lumen on Unreal Engineessä käytettävä grafiikkateknologia, joka keskittyy valaistukseen ja heijastuksiin.
Mipmap	Mipmap on tekniikka, joka liittyy tekstuurien käyttöön erityisesti pelimoottoreissa ja 3D-grafiikassa. Mipmap koostuu

alkuperäisestä tekstuurista ja sen tasot ovat aina jaollisia kahdella. Mipmapin tehtävä on parantaa suorituskkyä vähentämällä vaadittavaa grafiikkapiirin tarvitsemaa laskentatehoa sekä muistin käyttöä.

MR	MR eli Mixed Reality yhdistää ja sulauttaa virtuaalisen ja todellisen maailman elementtejä luodakseen uuden, yhdistetyn kokemuksen.
Nanite	Nanite on Unreal Engine 5 -pelimoottorin yksi keskeisimmistä grafiikkateknologioista, jonka Epic Games on kehittänyt. Sen tarkoituksena on mahdollistaa monimutkaisten 3D-mallien renderöinti ilman negatiivista vaikutusta suorituskkyyn tai laatuun. Nanite perustuu virtuaaliseen geometriaan, jonka pelimoottori osaa laskea käytetystä näyttöresoluutiosta sopivaksi. Nanitesta tulee todennäköisesti tulevaisuudessa versio mobiililaitteille, jota hyödynävät tehokkaat älypuhelimet ja stand-alone virtuaalilasit.
Objekti	Objekti tarkoittaa 3D-ympäristössä kolmiulotteista mallia, kuten esinettä, rakennusta tai hahmoa. Objekti koostuu polygoneista ja vertexeistä.
Path Tracing	Path Tracing on säteenseurantaan perustuva renderöintimenetelmä, joka on kehittyneempi ja raskaampi versio Ray Tracingista.
Poly count	Poly count on termi, jota käytetään 3D-grafiikassa. Poly countilla on merkittävä rooli 3D-grafiikassa ja pelisuunnittelussa, sillä se vaikuttaa suoraan grafiikan laatuun ja suorituskkyyn.
Polygon	Polygon tarkoittaa 3D-grafiikassa kärkipisteistä eli Vertexeistä koostuvaa neliötä tai kolmiota, jotka on yhdistetty suljetuksi muodoksi. Polygonit ovat yleensä kolmioita.
ProOptimizer	ProOptimizer on 3ds Max-ohjelman työkalu, jonka avulla käyttäjä voi vähentää kappaleen geometriaa säilyttäen alkuperäisen kappaleen muodot.

Ray tracing	Ray tracing eli sateenseuranta tarkoittaa valon käyttäytymisen simuloimiseen käytettyä laskentamenetelmää.
Redusointi	Redusointi tarkoittaa kompleksin 3D-objektin rakenteen yksinkertaistamista ja keventämistä sille olennaiseen muotoon.
Retopology	Retopology eli retopologia on 3ds Max työkalu, jota käytetään kappaleen keventämisessä ja kappaleen mesh-verkoston eli topologian yksinkertaistamiseen.
Reverse engineering	Reverse engineering eli käänteinen suunnittelu 3D-skannauksen kontekstissa tarkoittaa olemassa olevien muotojen ja rakenteiden jäljittelyä. Jäljittely tapahtuu tässä opinnäytetyössä älypuhelimella.
Smoothing group	Smoothing group on termi 3D-mallinnuksessa käytettävään teknologiaan, joka määrittää, mitkä polygonit tai pinnat mallissa tulisi renderöidä sileänä. Smoothing group on tärkeä erityisesti silloin, kun mallia valaistaan tai varjostetaan, sillä se vaikuttaa siihen, miten valo heijastuu mallin pinnalta.
Texture atlases	Tekstuuriatlakset ovat suuria tekstuurikarttoja, joissa monet pienemmät tekstuurit yhdistetään yhdeksi suureksi tekstuuriksi. Tämä tapahtuu uv-mappauksen aikana ja tuloksena se parantaa graafista suorituskkyä vähentämällä piirtojen määrää. Tekstuuriatlakset ovat tärkeitä grafiikan optimoinnissa ja ne vähentävät muistin käyttöä ja tehostavat renderöintiä.
Triangle count	Triangle count tarkoittaa kolmiulotteisessa kappaleessa esiintyvien kolmioiden määrää. Mitä enemmän kolmioita kappaleessa on, sitä yksityiskohtaisempi se on ja sitä sileämmältä se näyttää. Kolmiot ovat suorituskvyn kannalta kevyempiä kuin neliöt, sillä kolmiossa on kolme kulmaa ja kolme sivua verrattuna neliön neljään kulmaan ja neljään sivuun. Tämä vähentää geometristä monimutkaisuutta ja vaatii vähemmän muistia ja laskentatehoa.

Unreal Engine	Unreal Engine on pelimoottori, jota kehittää Epic Games, ja se on yksi alan johtavista pelimoottoreista. Unreal Engine on tunnettu realistisesta grafiikastaan, tehokkaasta fysiikkasimulaatiostaan ja laajasta yhteisöstään, joka tukee ja edistää sen jatkuvaa kehitystä.
UV-Mapping	UV-Mapping on tekniikka, joka mahdollistaa tekstuurien tai materiaalien liittämisen 3D-mallin pintaan. Se perustuu 2D UV-koordinaatteihin, jotka määrittävät, miten tekstuurit sijoitetaan mallin pinnalle. UV-Mapping on tärkeä 3D-mallinnuksen osa, joka mahdollistaa mallien visuaalisen rikastamisen ja yksityiskohtien lisäämisen. UV-Mapping työkaluja löytyy muun muassa Autodesk Maya ja 3ds Max, Mudbox, Blender, Cinema 4D, ZBrush, Adobe Substance Painter ja Houdini.
Vertex	Vertex tarkoittaa 3D-grafiikassa objektin kärkipisteitä. Vertexit määrittävät objektin kulmat ja muodot.
Vertex count	Vertex count tarkoittaa kolmiulotteisen mallin kulmapisteiden määrää. Nämä kulmapisteet ovat kolmiulotteisen objektin äärimmäiset kohdat, joissa kaksi tai useampi reuna kohtaa toisensa. Vertex count on tärkeä käsite tietokonegrafiikassa, kuten 3D-mallinnuksessa ja pelisuunnittelussa. Mitä suurempi vertex count, sitä enemmän laskentatehoa ja resursseja renderöinti vaatii. Tämän vuoksi grafiikkasuunnittelijat pyrkivät pitämään vertex countin mahdollisimman alhaisena, jotta suorituskyky ei kärsisi. Yksinkertaisimmilla kappaleilla voi olla muutamia kulmapisteitä, kun taas monimutkaisemmilla malleilla niitä voi olla tuhansia.
Virkistystaajuus	Virkistystaajuus tarkoittaa sitä, miten monta kertaa sekunnissa näyttö päivittää kuvan. Virkistystaajuutta mitataan hertseinä eli Hz. Tässä opinnäytetyössä virkistystaajuus liittyy virtuaalilasien kykyyn päivittää linssien kuvaa.

VR

VR eli virtuaalitodellisuus tarkoittaa teknologiaa, jossa luodaan keinotekoinen 3D-ympäristö. Tämä voi olla täysin kuvitteellinen tai täysin oikeasta maailmasta tehty jäljennös. Virtuaalitodellisuus voi mahdollistaa immersiota, interaktiivisuutta, laajan oppimisympäristön, virtuaalisia kokouksia sekä paljon muuta.

XR

XR eli Extended Reality on käsite, joka kattaa kaikki todellisuuden laajennukset, kuten VR, AR ja MR.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia CAD-mallien saumatonta integrointia Unreal Engine 5 -pelimoottoriin, ja siinä tarkasteltiin erilaisia ongelmakohtia sekä mahdollisia ratkaisuja näihin ongelmiin. Opinnäytetyössä tarkasteltiin erilaisia tekniikoita, joiden avulla voidaan luoda realistista ja optimoitua 3D-grafiikkaa Unreal Engineessä ja mahdollistaa siten myös korkealaatuinen ja sulava VR-kokemus. Opinnäytetyön luettuaan lukijalla tulisi olla käsitys CAD-mallien konvertoinnin ja redusoinnin eri vaiheista niiden integrointiin Unreal Engineen.

1.2 Keskeiset aiheet ja kysymykset

Opinnäytetyön keskeiset aiheet ja kysymykset liittyvät seuraaviin:

CAD-mallien integrointi: Miten CAD-mallit voidaan integroida saumattomasti Unreal Engineen? Millaisia ovat yleisimmät haasteet ja ongelmat integrointiprosessissa? Onko olemassa muita vaihtoehtoisia keinoja saada mallit Unreal Engineen käytettäväksi?

Mallien optimointi ja suorituskkyky: Miten CAD-malleja voidaan optimoida realistisen ja sulavan VR-kokemuksen saavuttamiseksi? Millainen merkitys mallien optimoinnilla on?

Artistimaiset 3D-ohjelmistot: Tuovatko taiteelliset ohjelmat CAD-mallien integrointiin lisäarvoa ja mitkä niiden hyödyt ovat?

Teksturointi: Miten CAD-malleihin voidaan lisätä tekstuurit?

1.3 Aiheen rajaus

Opinnäytetyö ei ota kantaa AR-, MR- tai XR-tekniikoihin, vaan se keskittyy pelkästään virtuaalitodellisuuteen. Opinnäytetyö ei ota kantaa Unreal Enginen ominaisuuksien ohjelmointiin virtuaalitodellisuutta varten, vaan se käsittelee CAD-mallien integroinnin pelimoottoriin sekä tarkastelee mallien integroinnin eri vaiheiden ongelmakohtia ja ratkaisuja näihin ongelmiin.

1.4 Opinnäytetyössä testatut ohjelmistot

Kaikkia seuraavia testattuja sovelluksia ei voida opinnäytetyöhön sisällyttää rajallisen ajan vuoksi, vaan rajataan opinnäytetyö käsittelemään vain sille merkityksellisimpiä ohjelmistoja. Seuraavaksi luetellaan kaikki opinnäytetyössä testatut ohjelmistot ja niiden versiot.

CAD-ohjelmat:

- Siemens Solid Edge 2018–2024
- PTC Creo 7
- Autodesk AutoCAD 2022

Artistimaiset ohjelmat:

- Autodesk Maya 2022–2024
- Autodesk 3ds Max 2016–2024
- Autodesk Mudbox 2022–2024
- Maxon One ZBrush 2024.1.0
- Maxon One Cinema 4D 2024.1.0
- Blender 3.0–4.0

Pelimoottorit ja VR-ohjelmistot:

- Unity 2022.1.0
- Unreal Engine 4.27.2–5.3.2
- Simlab Soft 11.1.22

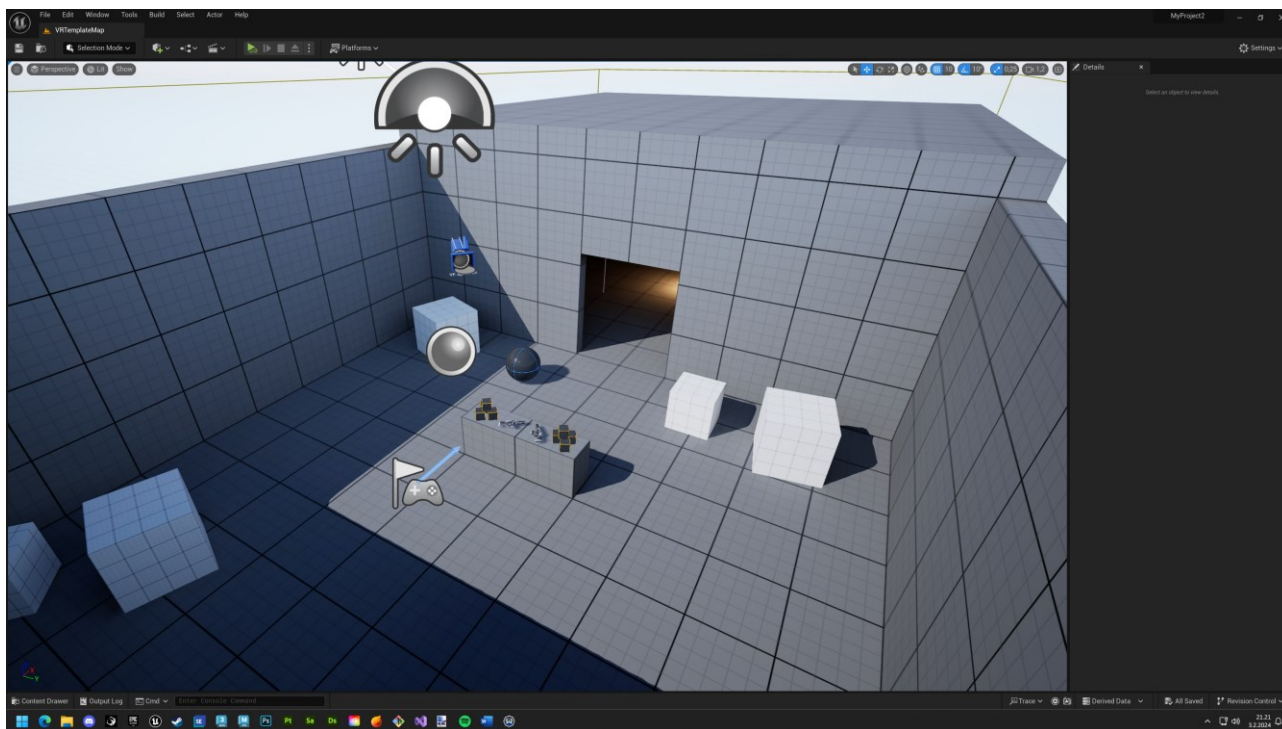
Teksturointi:

- Adobe Substance 3D Painter 8.2–9.1
- Adobe Substance 3D Sampler 4.2.2
- Adobe Photoshop 2020
- Paint.net 4.2.11–5.0.12

Näiden ohjelmistojen vertailun perusteella valittiin lopulta läpikäytäväksi vain oleelliset ohjelmistot, jotka käydään myöhemmin läpi opinnäytetyössä.

1.5 Pohdintaa Unreal Enginestä

Unreal Engine 5 on tällä hetkellä kaikista kehittynein pelimoottori ja se tarjoaa myös kaikista kehittyneintä reaaliaikaista renderöintiä (IO-Tech, 2020). Unreal Enginellä on takanaan suuri yhteisö ja pelimoottori kehittyy nopeasti eteenpäin. Valittaessa alustaa on tärkeää tarkastella sen tarjoamia mahdollisuuksia, tulevaisuuden näkymiä ja tiedostaa myös muita mahdollisia vaihtoehtoja. Muita mahdollisia alustoja virtuaalitodellisuudelle voisivat olla esimerkiksi Unity-pelimoottori tai SimLab-ohjelmisto, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään vain Unreal Engine 5 -pelimoottoriin. Kuvassa 1 tarkastellaan Unreal Enginen tarjoamaa virtuaalitodellisuuspohjaa.



Kuva 1: Unreal Engine 5.3.2-version tyhjä virtuaalitodellisuuspohja.

1.6 Lisenssi

Unreal Enginen lisenssikäytäntö muuttui ja sen käyttö on opinnäytetyötä kirjoitettaessa 1500 euroa vuodessa käyttäjää kohden autoteollisuudessa ja elokuvateollisuudessa (Epic Games, 2023-c). Aiemmin moottori on ollut molemmille ilmainen. Peliteollisuudessa pelimoottori on edelleen ilmainen, kunnes peliteollisuuden yritys tuottaa myynneillä miljoonan euron rajan, jonka jälkeen Unreal Engine alkaa ottaa osuutta pelin myynneistä. Epic Games on tunnettu mentaliteetista ”jos te menestytte, niin mekin menestymme”. Epic Games tarjoaa Unreal Enginen 1500 euron lisenssissään yrityksille myös tarvittaessa tukea, eli on mahdollista järjestää tapaamisia pelimoottorin kehittäjien kanssa sen käytöstä ja käyttöönotosta.

1.7 Motiivi

Motiivi CAD-mallien konvertoimiselle, redusoinnille ja käytölle virtuaalitodellisuudessa liittyy halun muuntaa suunnittelumallit realistiseksi ympäristöksi, joka tukee päätöksentekoprosesseja, parantaa kommunikaatiota ja ymmärrystä suunnittelijoiden, asiakkaiden ja sidosryhmien välillä (McLaren Automotive, 2018).

Virtuaalitodellisuus mahdollistaa interaktiivisen ja käytännön läheisen kokemuksen 3D-mallien ympärillä liikkumiseen ja yksityiskohtien tarkasteluun (VR Space, 2022). Tämä edistää parempaa ymmärrystä mallien rakenteesta ja toiminnasta, kun asiat voidaan esittää virtuaalimaailmassa visuaalisesti reaaliajassa. Virtuaalitodellisuutta käyttämällä lisätään suunnittelijoiden, asiakkaiden ja sidosryhmien käsitystä suunnitteluprosessista, ja se tukee tietoon perustuvia päätöksiä. Tämä voi johtaa parempiin päätöksiin, säästää aikaa ja turhia kuluja.

Lisäksi virtuaalitodellisuus tekee prosessista käyttäjälle viihdyttävämmän, kun käyttäjät voivat kokeilla ja testata eri vaihtoehtoja reaaliaikaisesti (Bernard Marr, 2021). Virtuaalitodellisuus tarjoaa mahdollisuuksia muun muassa etätyöhön ja monipaikkaiseen yhteistyöhön. Tämä voi parantaa kommunikaatiota ja yhteistyötä eri projektiryhmien välillä. Virtuaalitodellisuuden käyttö suunnittelun ulkopuolella, kuten tuotannossa eri asioiden koulutuksessa, voi tuoda säästöjä ja tehostaa koko tuotantoketjua. Virtuaalitodellisuus voi myös

mahdollistaa myynnissä ja markkinoinnissa kaupankäyntiä esimerkiksi toiselle puolelle maailmaa muutamassa minuutissa niin, että tuote on suoraan asiakkaan tarkasteltavana.

2 TEORIA

2.1 Mitä on virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus eli VR on teknologia, jonka avulla käyttäjä voi uppoutua kolmiulotteiseen ympäristöön virtuaalilasien kautta (VR Space, 2022). Virtuaaliympäristö voi olla täysin realistinen kopio oikeasta maailmasta tai päinvastoin täysin futuristinen. Virtuaalitodellisuus hyödyntää monenlaisia sensoriteknologioita ja ohjelmistoja, jotta käyttäjän on mahdollista kokea näkö-, kuulo- sekä joissain tapauksissa myös tuntoaistimuksia.

Virtuaalitodellisuuden historia juontaa juurensa 1960-luvulle, kun ensimmäiset VR-konseptit alkoivat muotoutua (OpenAI, 2024). Kuitenkin vasta 1990-luvulla teknologian kehitys salli laajemman käytön, ja markkinoille tulivat ensimmäiset kuluttajille suunnatut virtuaalilasit. Näiden alkuaikojen jälkeen VR-teknologia on jatkuvasti kehittynyt, ja vuonna 2016 kuluttajille esiteltiin ensimmäiset langattomat ja itsenäiset virtuaalilasit, kuten Oculus Rift ja HTC Vive. Hinnittelun osalta alkuperäinen kallis hinta on laskenut ja useammat kuluttajat pystyvät nykyään kokemaan virtuaalitodellisuuden.

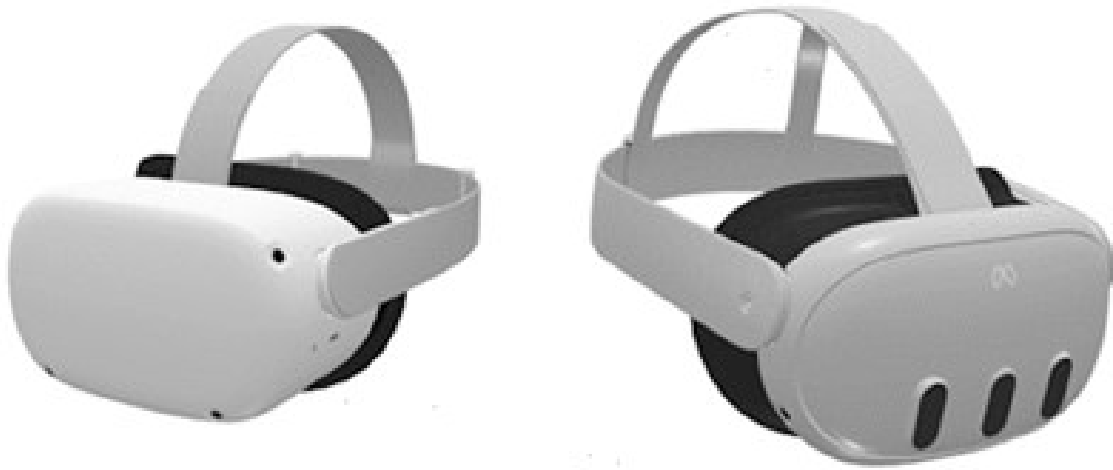
Virtuaalitodellisuus yleisesti on kehittynyt viime vuosina, ja se tulee kehittymään myös tulevaisuudessa rajulla vauhdilla (VRelity, 2023). Tulevaisuudessa voidaan nähdä teknologioita, kuten Neuralink, jonka avulla Full Dive VR -kokemus saattaisi olla mahdollinen.

Neuralink on yhdysvaltalainen neuroteknologiayritys, jonka takana on miljardööri Elon Musk (CNET, 2020). Neuralink kehittää ihmisen ja tietokoneen yhdistävää aivokäyttöliittymää implantin avulla. Alkuvaiheessa yrityksellä on tavoitteena kehittää laitteita vaikeiden aivovammojen hoitoon ja myöhemmin laitteita, joiden avulla käyttäjät voisivat hallita tietokonetta tai mobiililaitetta.

2.2 Tietoa virtuaalilaseista

Virtuaalilasit koostuvat yhdestä tai kahdesta näyttöruudusta lasista riippuen, ja ne on sijoitettu suoraan silmien eteen (IO-Tech, 2021). Lasit peittävät näkökentän kokonaan. Useissa virtuaalilaseissa on sensorit, jotka seuraavat esimerkiksi käyttäjän liikkeitä. Virtuaalilaseja on monenlaisia ja niihin kannattaa tutustua huolella, sillä suuria eroja on paljon. Mikäli käyttäjä haluaa suoritustehoa, täytyy stand-alone lasit unohtaa täysin ja keskittyä tietokoneen tehokkaita komponentteja hyödyntäviin lasiin.

Opinnäytetyössä käytettiin Meta Quest 2 ja Meta Quest 3 -virtuaalilaseja, jotka oli yhdistetty Meta Quest Link -kaapelilla RTX 4090 -näytönohjaimelliseen tietokoneeseen (Meta Quest, 2023). Meta Quest 3 -virtuaalilasit tukevat nyt myös 120 Hz virkistystaajuutta. Korkeampi virkistystaajuus tarkoittaa sulavampaa kuvaa ruudulla. Tämän hyödyntäminen kuitenkin vaatii sen, että tietokone kykenee tuottamaan yli virkistystaajuuden verran kuvia sekunnissa. Kuvassa 2 tarkastellaan Meta Quest 2 ja 3-virtuaalilaseja.



Kuva 2: Vasemmalla kuvassa Meta Quest 2 ja oikealla Meta Quest 3 -virtuaalilasit (Meta, 2024).

2.3 Valittu alusta ja esittely

Alustaksi opinnäytetyöhön valikoitui Unreal Engine 5 (Unreal Engine, 2020-a). Unreal Engine 5 on yksi kehittyneimmistä ja maailman johtavimmista pelimoottoreista. Pelimoottori tarjoaa kauppapaikallaan paljon ilmaista ja maksullista materiaalia käytettäväksi moottorissa. Hyvänä esimerkkinä tästä ovat ilmaiset tekstuurikirjastot, kuten Automotive materials, jotka mahdollistavat realististen materiaalien nopean integroinnin käytettäviin CAD-malleihin.

Unreal Engine on kehittynyt paljon ja se tarjoaa tärkeitä ominaisuuksia suorituskyvyn ja objektien visuaalisen laadun kannalta, kuten Lumen ja Nanite (Epic Games, 2023-d). Lumen perustuu säteenseurantaan eli Ray Tracing ja se mahdollistaa dynaamisen ja realistisen valaistuksen luonnin ympäristöön. Nanite puolestaan käsittelee suorituskyyä, ja se hyödyntää käyttäjän resoluutiota ja laskee sen perusteella kappaleille vaaditun määrän polygoneja ruudulle näytettäväksi. Nanite mahdollistaa siis monimutkaistenkin mallien käytön Unreal Engine 5:ssä, ja se perustuu virtuaaliseen geometriaan. Tämä on merkittävää suorituskyvyn kannalta ja se voisi myös nopeuttaa huomattavasti CAD-mallien integrointia pelimoottoriin tulevaisuudessa. Nanite käsittelee mallin LOD eli level of detail reaaliajassa käyttäjän ruudulla, mikä nopeuttaa kappaleen integrointia ja parantaa suorituskyyä merkittävästi. Tulevaisuudessa Naniten ja Lumenin odotetaan tulevan käytettäväksi myös mobiililaitteille, kuten tehokkaille älypuhelimille ja stand-alone virtuaalilaseille, mutta koska nämä ominaisuudet eivät olleet vielä mahdollisia Unreal Enginen 5.3.2-versiossa, keskitytään tässä opinnäytetyössä perinteisempään objektin optimointiin, jota voidaan myös hyödyntää muille vanhempaa teknologiaa käyttäville alustoille.

3 KÄYTÄNTÖ

3.1 CAD-mallien redusointi ja integrointi Unreal Engineen

Opinnäytetyössä keskityttiin CAD-mallien integrointiin Unreal Engineen, jossa mallit on optimoitu suorituskyky ja visuaalinen laatu edellä. Oikominen mallin optimoinnissa johtaa heikkoon suorituskykyyn, huonoon virtuaalitodellisuuskokemukseen ja saattaa siten myös aiheuttaa huonoa oloa käyttäjälle. Mallin optimointi pelimoottorille onkin erityisen tärkeä vaihe. Mallit on mahdollisia optimoida erilaisilla ohjelmistoilla, joita ovat muun muassa Blender ja Autodesk 3ds Max.

3.1.1 Valitut ohjelmistot

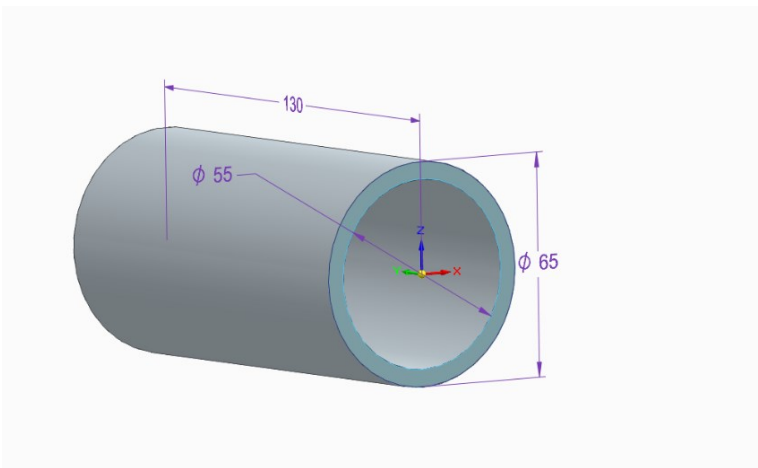
Opinnäytetyöhön käsiteltäviksi sovelluksiksi CAD-ohjelmista valittiin Siemens Solid Edge ja PTC Creo. Artistimaisista sovelluksista mallien optimointiin opinnäytetyössä valittiin Autodesk 3ds Max, sillä siihen oli mahdollista syöttää STEP-tiedosto kokoonpanosta suoraan menettämättä mallista pinnan laatua. Pelimoottorina ja virtuaalitodellisuuden alustana opinnäytetyössä käytettiin Unreal Engine 5:tä.

3.1.2 Tiedostomuotojen valinta ja datan katoaminen

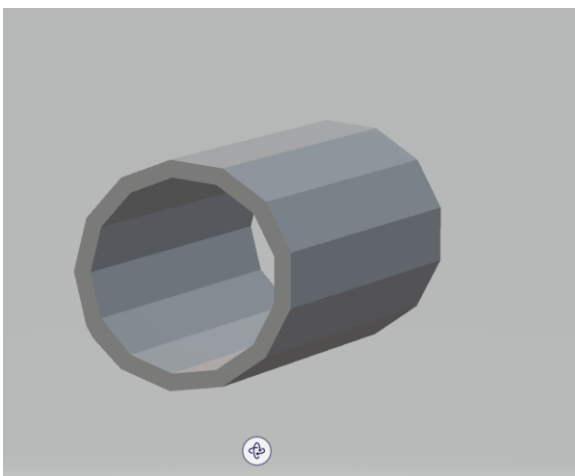
Jokaisella CAD-ohjelmistolla on omat tiedostomuotonsa, mikä hankaloitti alkuksi yleispätevän ja kaikille ohjelmistoille sopivan ratkaisun löytämistä (Epic Games, 2023-a). Suuremmat kokoonpanot voivat olla jopa useita miljoonia polygoneja, jolloin suorituskyky tulee olemaan virtuaalitodellisuudessa erittäin huono, ellei kappaleita redusoida radikaalisti manuaalisesti. Kappaleiden kevennykseen löytyy muutamia erilaisia työkaluja eri sovelluksissa, kuten Blender tai Autodesk 3ds Max.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa huomattiin, että mikäli kappaleen tallentaa CAD-ohjelmasta suoraan CAD-ohjelmalle epätavallisissa muodoissa, kuten OBJ, saattaa mallista kadota tärkeää dataa mallien pinnan sileydestä (Epic Games, 2023-a). Yleisin asia mikä CAD-mallia siirrettäessä katoaa, on objektin smoothing group.

Smoothing group tarkoittaa 3D-mallin pinnan sileyttä (Nebulaoblivion, 2014). Useimmiten smoothing group katoaa, mikäli kappale muutetaan CAD-ohjelman kautta toiseen muotoon, kuten OBJ. Kuvissa 3 ja 4 tarkastellaan objektia, josta on kadonnut smoothing group viettäessä mallia toiseen tiedostomuotoon suoraan CAD-ohjelmasta. Toinen CAD-ohjelma saattaa hoitaa konvertoinnin kuitenkin paremmin kuin toinen ohjelma, joten tästä syystä opinnäytetyö on rajattu käsittelemään CAD-ohjelmien puolesta vain STEP-tiedostomuotoa. Kuvissa 3 ja 4 tarkastellaan Solid Edge 2023 -ohjelmalla mallinnettua kappaletta ja siitä kadonnutta pinnan sileyttä.



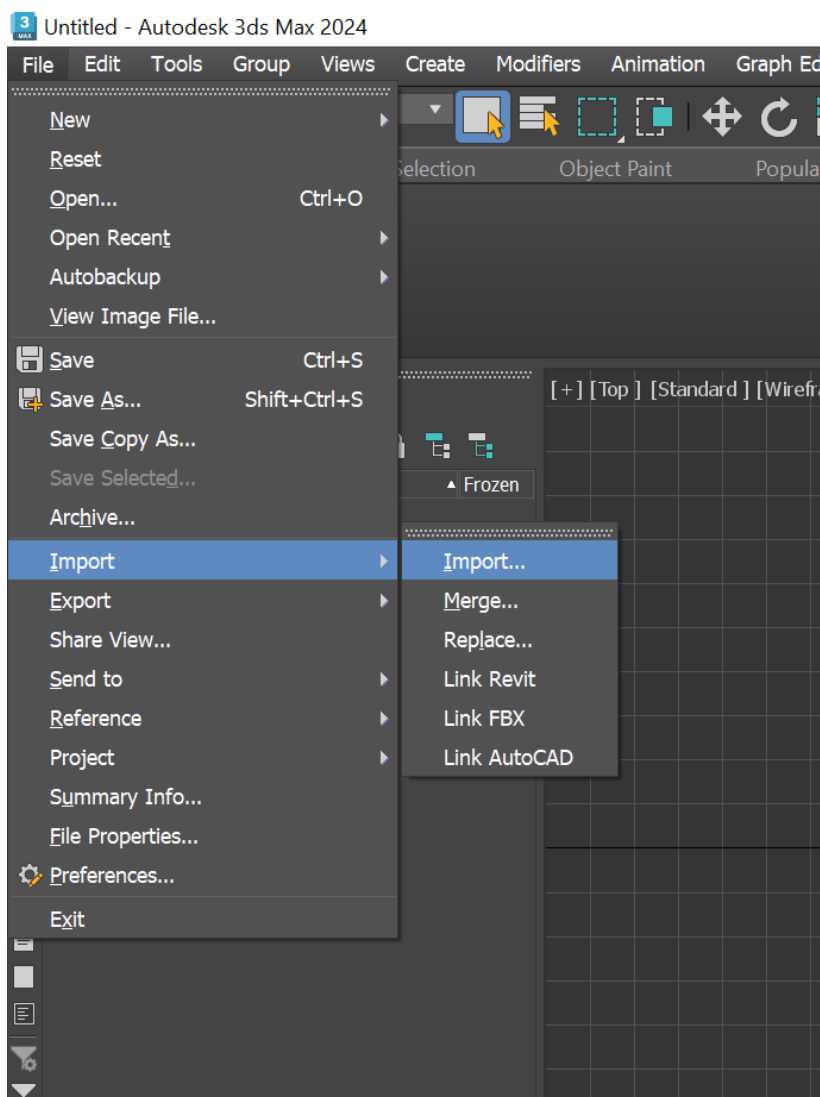
Kuva 3: Solid Edge 2023 -ohjelmalla mallinnettu kappale.



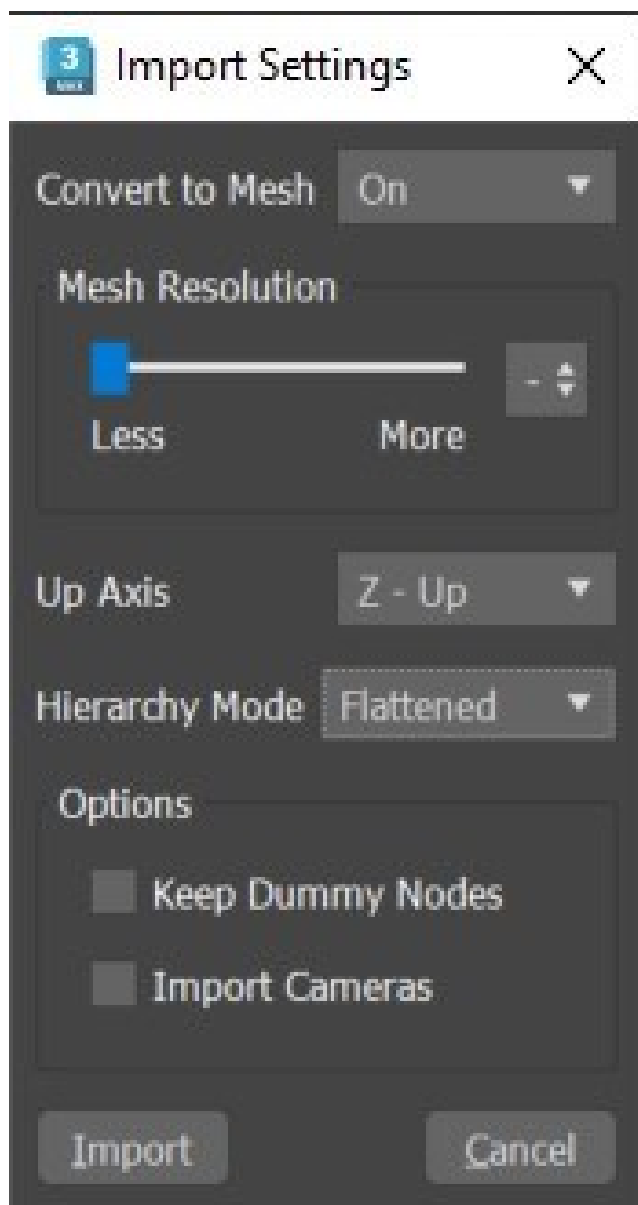
Kuva 4: Solid Edge 2023 -ohjelmasta OBJ-muodossa viety kappale, josta on kadonnut smoothing group.

3.1.3 Mallin integrointi 3ds Max-ohjelmaan

Opinnäytetyössä siirrettiin mallit STEP-tiedostoina CAD-ohjelmasta Autodesk 3ds Max 2024-ohjelmaan, joka osasi muutamassa minuutissa avata yli yhden gigatavun kokoinen CAD-kokoonpanon menettämättä siitä silmällä huomattavasti ollenkaan dataa mallin pinnanlaadusta, ja samalla ohjelma myös kevensi mallia huomattavasti, kun sopivat mallin tuontiasetukset olivat löytyneet. Tämä oli mallin optimoinnin kannalta tärkeää, sillä noin yhden gigatavun kokoinen kokoonpano keveni jo näillä asetuksilla noin 12 miljoonasta polygonista noin 7 miljoonaan polygoniin. Kuvissa 5 ja 6 tarkastellaan objektin tuonti asetuksia 3ds Max -ohjelmaan.



Kuva 5: 3ds Max -ohjelmaan objektin tuonti.



Kuva 6: Step-tiedoston import-asetukset 3ds Max -ohjelmaan mallia siirrettäessä.

Kuvassa 6 esiintyvä 3ds Max -ohjelman valikko avautuu STEP-tiedostoa tuotaessa ohjelmaan kuvan 5 valikon kautta. Asetuksissa Mesh Resolution on laitettu pienimmälle saatavilla olevalle resoluutiolle. Tämä asetus kevensi 12 miljoonan polygonin kokoonpanon suoraan noin 7 miljoonaan polygoniin menettämättä mallista pinnan laatua. Asetuksissa myös Hierarchy Mode on asetettu Flatted -tilaan. Ilman tätä asetusta objektia ei ollut mahdollista redusoida myöhemmissä vaiheissa.

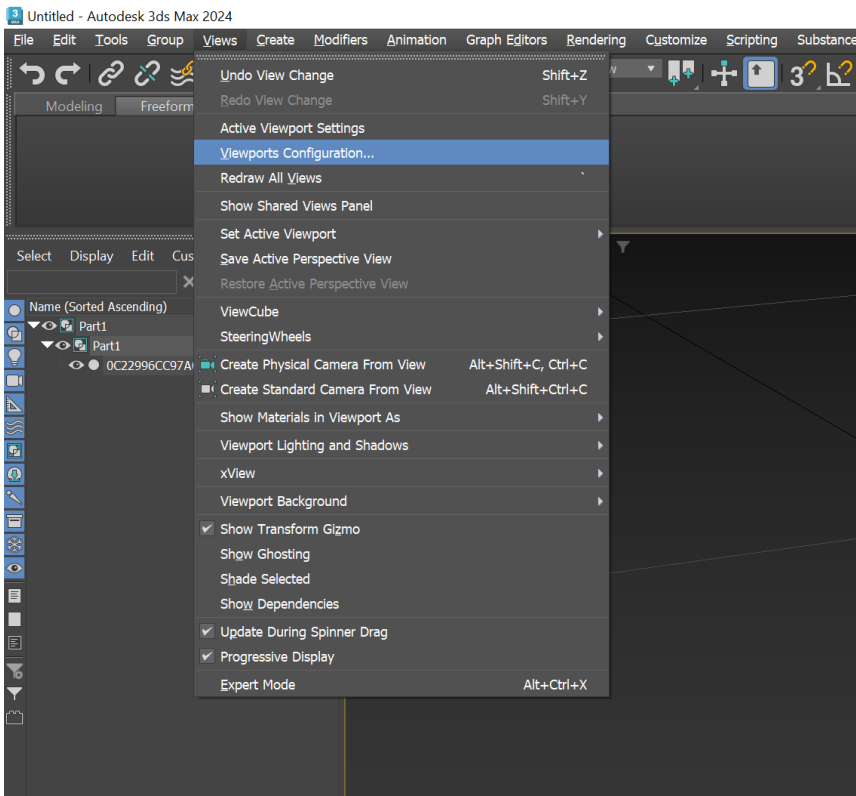
3.1.4 Mallin redusointi 3ds Max-ohjelmalla

Opinnäytetyössä huomattiin, että ennen mallin varsinaista optimointia on syytä tarkastella ja ymmärtää mallin rakennetta tarkemmin ja ymmärtää, miten pelimoottorit toimivat ja käsittelevät dataa (Jose M. Elizardo, 2020). Pelimoottorille ei ole oleellista säilyttää CAD-mallin sisäisiä rakenteita tai mekaniikkaa, ellei niitä erikseen haluta malliin ohjelmoida ja sisällyttää. Tämä kuitenkin lisää huomattavasti mallin manuaalista työstöaikaa, joten se ei ole välttämättä aina järkevää, kuten vaikka tuotteen suunnitteluvaiheessa, jossa mallin tulisi olla nopeasti virtuaalitodellisuudessa saatavilla. Sisäiset rakenteet ovat mahdollisia haluttaessa sisällyttää, mutta suuressa mallissa tämä voi tehdä työstä huomattavasti suuremman kuin sen tulisi olla ja mitä sille on arvioitu käytettäväksi ajaksi.

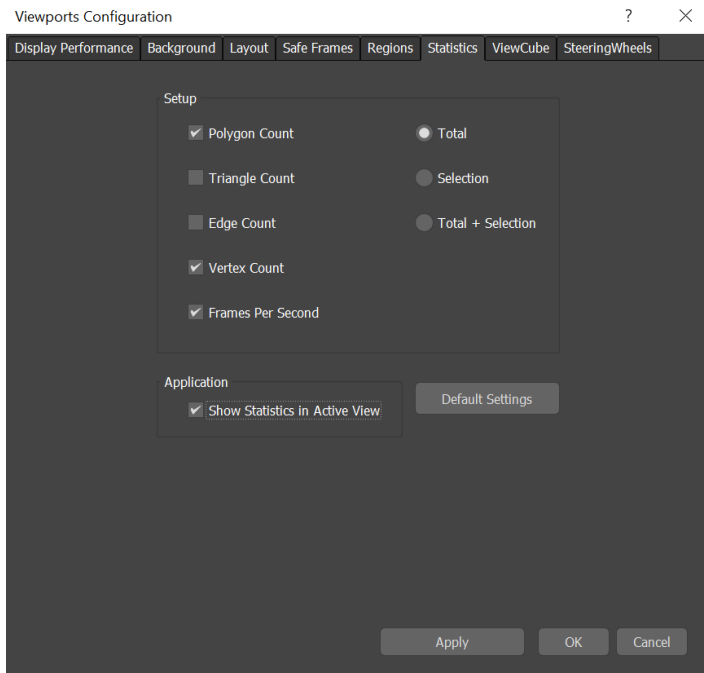
Opinnäytetyössä huomattiin myös, että CAD-mallit eivät aina ole korkeapolygonisia, vaan itse ongelma saattaa olla jossain muualla (DECODED, 2023). Pelimoottorille oleellisia ovat vain näkyvissä olevat pinnat, kun taas CAD-mallille on oleellista tarkat valmistuskuvat, mukaan lukien sisäiset rakenteet. Opinnäytetyössä redusoitavana olleessa reilun gigatavun kokoisessa kokoonpanossa suurin ongelma oli piiloon jäävät muodot, joista kertyi miljoonia polygoneja, sillä kokoonpanossa oli pintoja useita kerroksia päällekkäin.

Opinnäytetyössä reilun yhden gigatavun kokoinen kokoonpano keveni tiedostokoossa noin 90 % ja polycount kokoonpanolla redusoitui noin 75 % menettämättä mallista pinnanlaatua (Autodesk, 2023-b). Lähtötilanne kevennykselle oli noin 12 miljoonaa polygonia ja lopputulos noin 2,8 miljoonaa polygonia. Tämä kevennys oli riittävä siihen, että kokoonpano pyöri hyvin jopa stand alone virtuaalilaseilla. Olisi kuitenkin mahdollista käsitellä kokoonpanoa vielä tarkemmin yksittäisten verteksien ja polygonien tasolla ja redusoida sitä todennäköisesti vielä toiset 90 % poistamalla mallista piilossa olevia polygoneja ja verteksejä ja säilyttämällä mallissa vain oleellisimmat näkyvät pinnat. Kuvissa 7 ja 8 tarkastellaan 3ds Max -ohjelman statistiikka-asetuksia, joiden avulla voidaan tarkastella objektien polygon-määriä ja kuvassa yhdeksän statistiikka-asetukset ovat näkyvissä aktiivisena olevasta objektista. Joissain tapauksissa saattaa kuitenkin olla pienessä objektissa niin korkeaa topologiaa, ettei olemassa olevaa mallia ole järkevää käyttää välttämättä ollenkaan, vaan mallin voisi mallintaa uudelleen 3ds Maxin

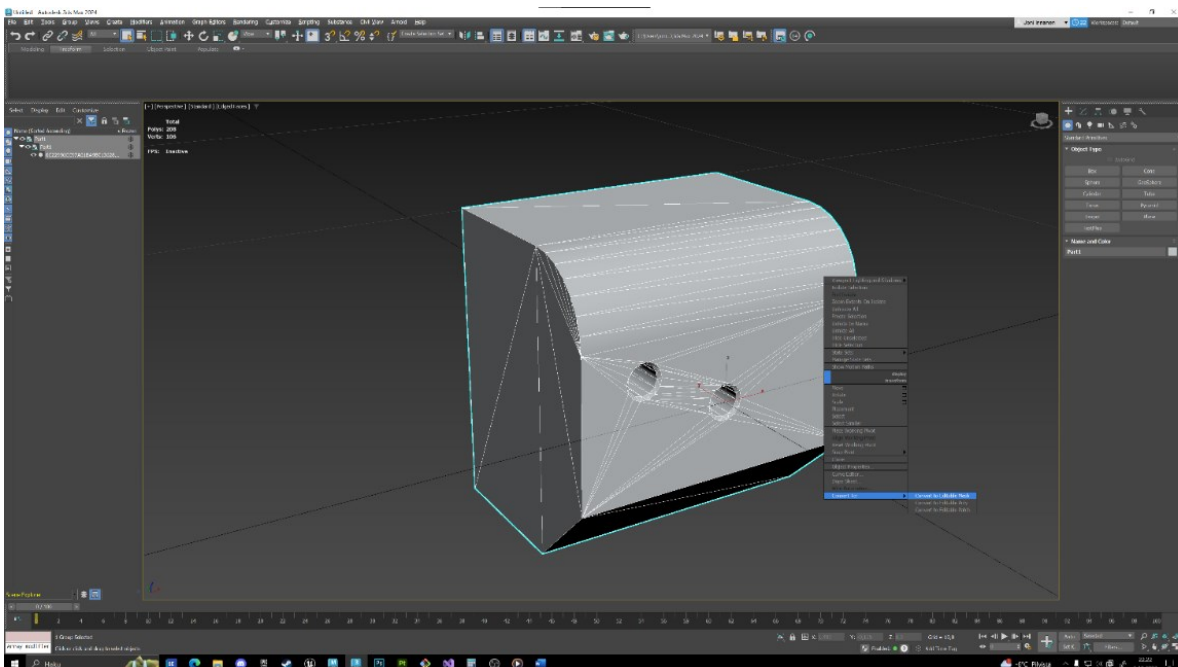
Retopology-työkaluilla. Ajanpuutteen vuoksi opinnäytetyössä ei voitu käsitellä kokoonpanoa tarkemmin, ja lisäksi opinnäytetyön tavoitteiden kannalta oleelliset asiat olivat jo saavutettu. Redusoitavana ollut kokoonpano pyöri sulavasti stand alone virtuaalilaseilla, mikä näin ollen mahdollisti virtuaalitodellisuuden käytön yritykselle, jolle kokoonpanon redusointi tehtiin.



Kuva 7: Statistiikka-asetusten avaaminen 3ds Max -ohjelmassa. Valikosta saa näkyville aktiivisessa näkymässä olevan objektin vertexi ja polygoni määrät.

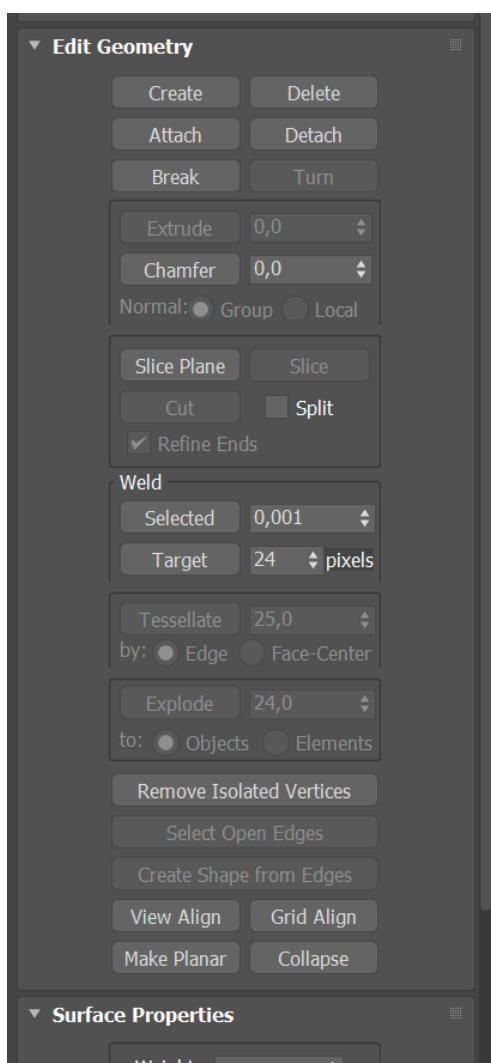


Kuva 8: 3ds Max -ohjelman statistiikka-asetukset.



Kuva 9: Kuvan näkymässä vasemmassa yläkulmassa näkyy kappaleen statistiikkatilastot. Kappaleen voi konveroida hiiren oikeaa painiketta klikkaamalla editable mesh ja editable poly muotoihin. Niiden alta ohjelmasta avautuu eri työkaluja käytettäväksi optimoinnissa.

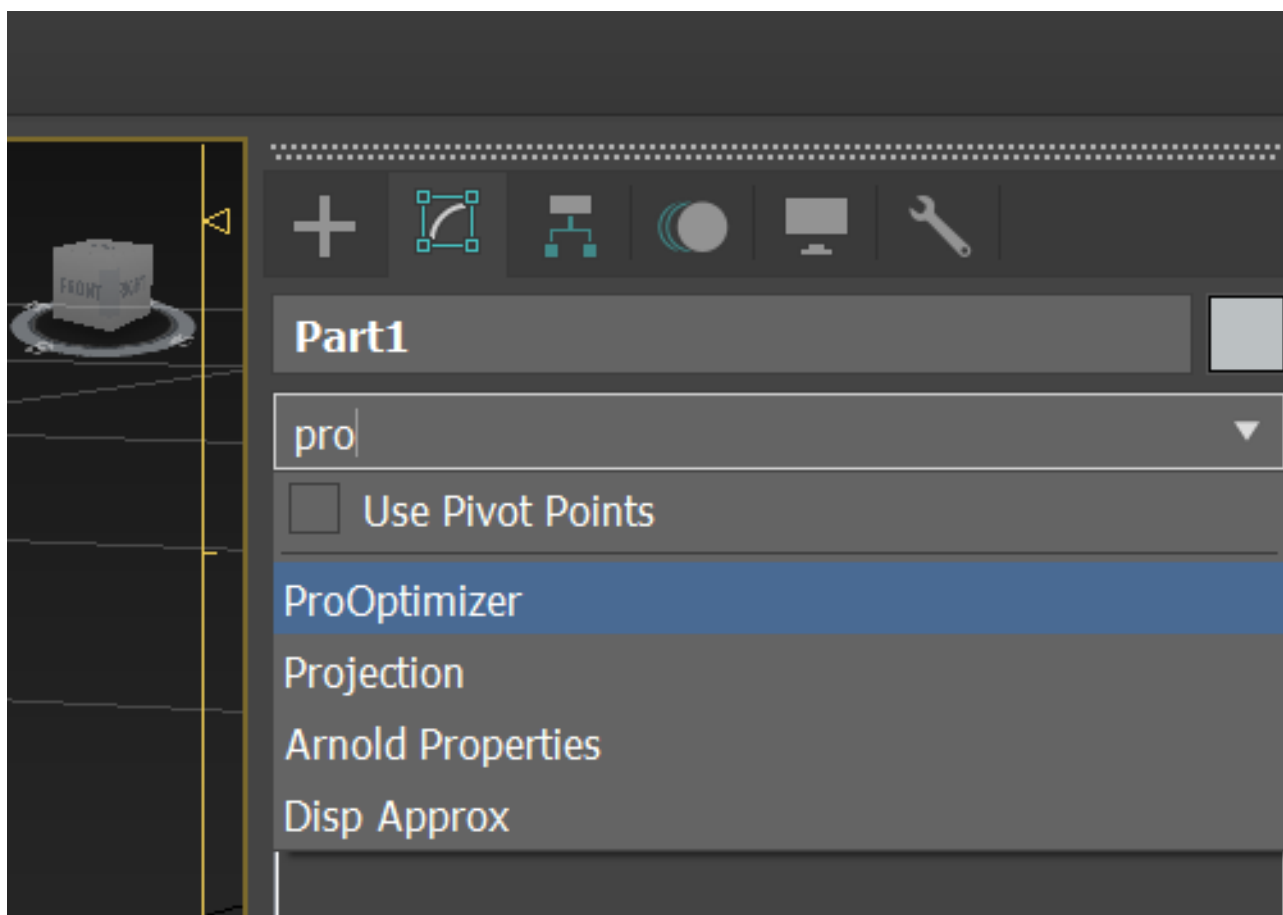
Mikäli mallia halutaan hifistellä vielä syvemmin, voidaan se käsitellä tarkemmin ja teksturoida lopuksi vielä näyttäväksi (5d studio, 2020). Mallin viimeistelyssä yksittäisiä vertexejä tulisi hitsata kiinni toisiinsa ja poistaa mallin sisään tulevat rakenteet kokonaan jättäen malliin näkyviin vain ulkoisimmat piirteet. Tämä tulisi vaatimaan mallin tarkempaa käsittelyä myös UV-rajojen osalta. UV-rajat tulisi jakaa eri kanaviin ja teksturoida sitten erillisessä ohjelmassa kuten Adobe Substance 3D Painter. Adobella on myös muita hyviä 3D-teksturointisovelluksia, kuten Adobe Substance 3D Sampler, jonka avulla voidaan luoda reaali maailmassa otetusta kuvasta tekstuuri ja käyttää sitä 3D-mallissa. Tämä tapa on kuitenkin hyvin aikaa vievä, eikä sitä tulisi tehdä ainakaan tuotteen suunnitteluvaiheessa, vaan se on lähinnä viimeisteltyä mallia varten, jota haluttaisiin esimerkiksi esitellä asiakkaalle.



Kuva 10: Toisistaan irrallaan olevien verteksien yhdistämisasetukset.

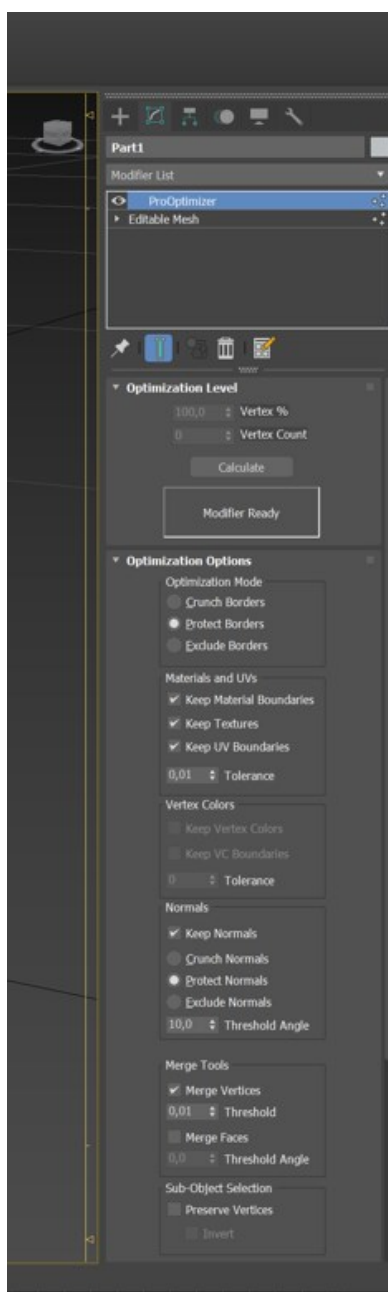
3.1.5 ProOptimizer

ProOptimizer on 3ds Max-ohjelman työkalu, jonka avulla voidaan vähentää mallin geometriaa ja samalla säilyttää kappaleen alkuperäinen muoto (Autodesk, 2023-b). Tärkeää on kuitenkin ymmärtää, että työkalun liiallinen käyttö voi johtaa yksityiskohtien menettämiseen ja jopa objektin muodon radikaaliin muuttumiseen. ProOptimizer on tehokas työkalu suorituskyvyn parantamiseen, ja se keventää 3D-malleja huomattavasti. Kuvissa 11 ja 12 käsitellään ProOptimizer-työkalun käyttöä.



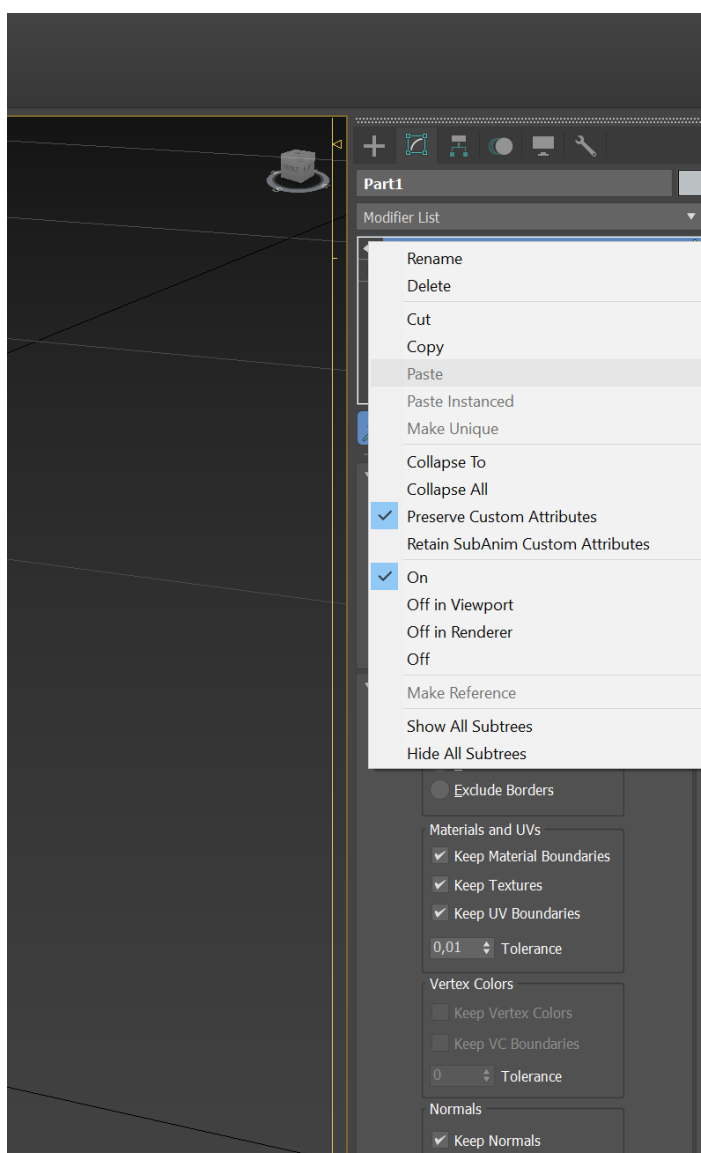
Kuva 11: 3ds Max -ohjelman ProOptimizer-työkalu.

Kuvassa 12 ProOptimizer-työkalun asetukset säilyttävät ja suojaavat objektin UV-rajoja, sekä yhdistävät toisistaan irrallaan olevat verteksit (5d studio, 2020). UV-rajojen suojaaminen rajoittaa ProOptimizer-työkalun toimintaa, jolloin se ei lähde oikaisemaan objektin muotoja radikaalisti mallin pinnasta, vaan se poistaa mallista ylimääräisiä polygoneja, jotka eivät vaikuta mallin muotoihin.



Kuva 12: ProOptimizer työkalun asetukset.

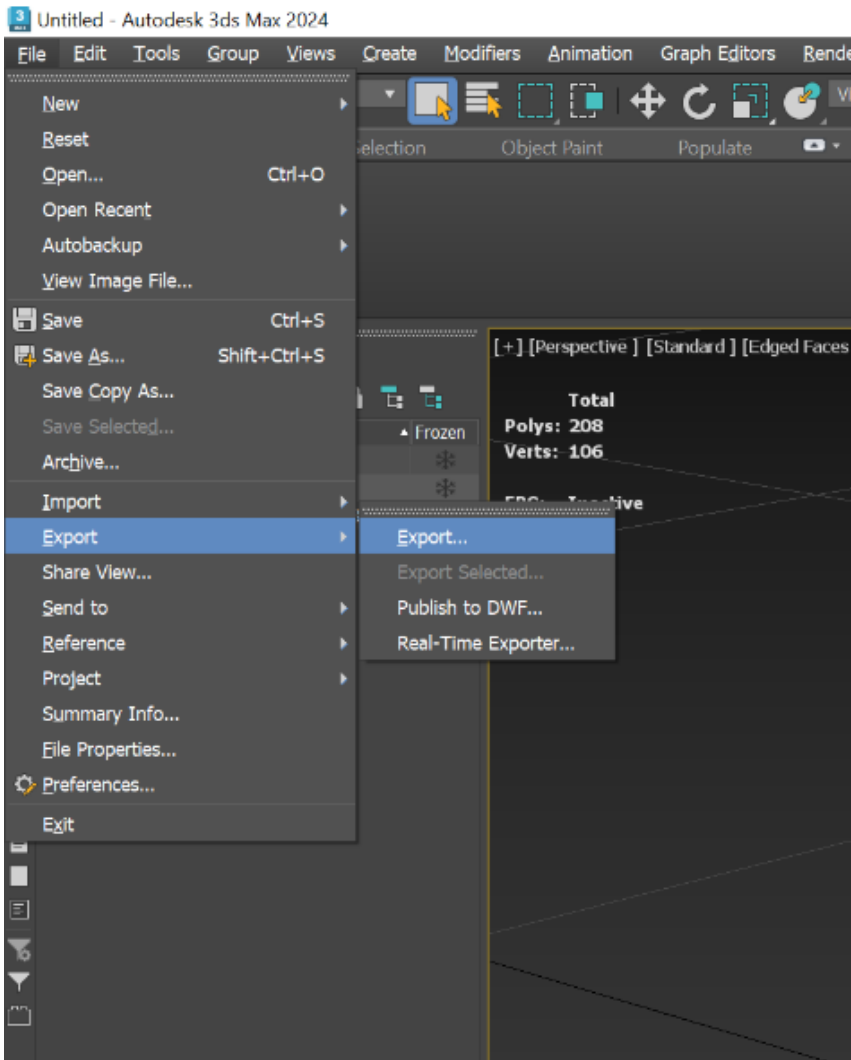
ProOptimizerin kaikki tarvittavat asetukset on konfiguroitu ja työkalua voidaan ruveta käyttämään (5d studio, 2020). Työkalusta tulee ensin aktivoida Calculate-ominaisuus, joka laskee objektin muokattavuuden aiemmin annetuilla arvoilla, jonka jälkeen tulee pienentää Vertex % niin pitkälle, että silmällä huomaa objektin geometrian muuttuvan. Tähän sopiva arvo on sellainen, joka ei muokkaa objektin muotoja, vaan poistaa ylimääräisiä polygoneja. Kuvassa 13 tarkastellaan, miten ProOptimizer-modifierin asetukset hyväksytään objektiin käytettäväksi.



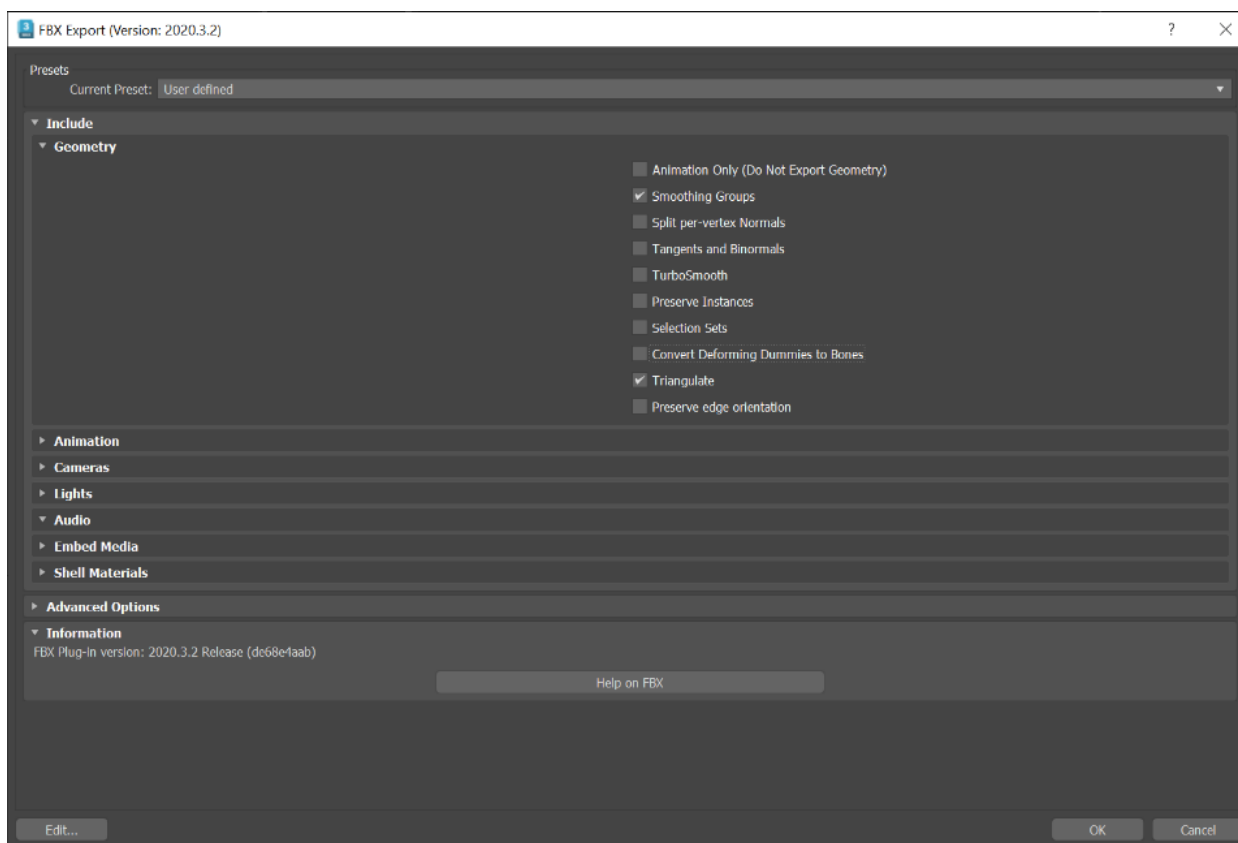
Kuva 13: ProOptimizer, kuten muutkin modifierit tulee käydä erikseen hiiren oikea klikkaamalla asettamassa collapse all tai collapse to kohdasta, jolloin modifier on käytössä mallissa. Vaihe olisi hyvä suorittaa ainakin raskaimmille objekteille kokoonpanossa.

3.1.6 Mallin siirto Unreal Engineen

Mallin siirto Autodesk 3ds Maxista Unreal Engineen on yksinkertainen vaihe, sillä kappale on optimoitu ja UV-mapattu 3ds Maxin puolella valmiiksi (Epic Games, 2023-b). Objekti täytyy tuoda 3ds Maxista FBX-muodossa Unreal Engineen. Siirrettäessä FBX-tiedostoa tulee kuitenkin vaihtaa muutamia asetuksia, kuten Geometry kohtaan valita Smoothing Groups, sekä Triangulate. Export-vaiheessa tulee myös poistaa TurboSmooth-ominaisuus. Mikäli objekti ei sisällä animaatioita, voidaan objekti exportata 3ds Maxista. Kuvissa 14 ja 15 käsitellään kappaleen vientiasetuksia 3ds Max -ohjelmasta Unreal Engine -pelimoottoriin.

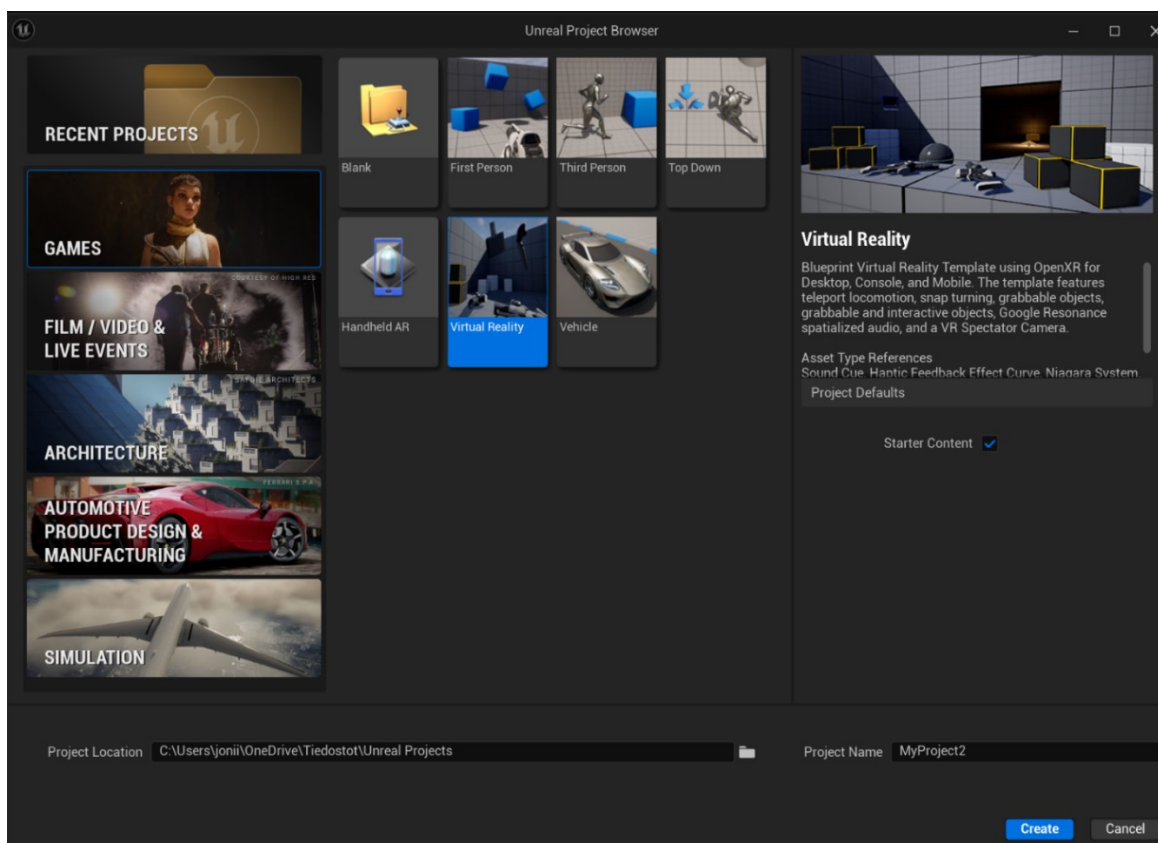


Kuva 14: 3ds Max -ohjelman objektin vientivalikko.

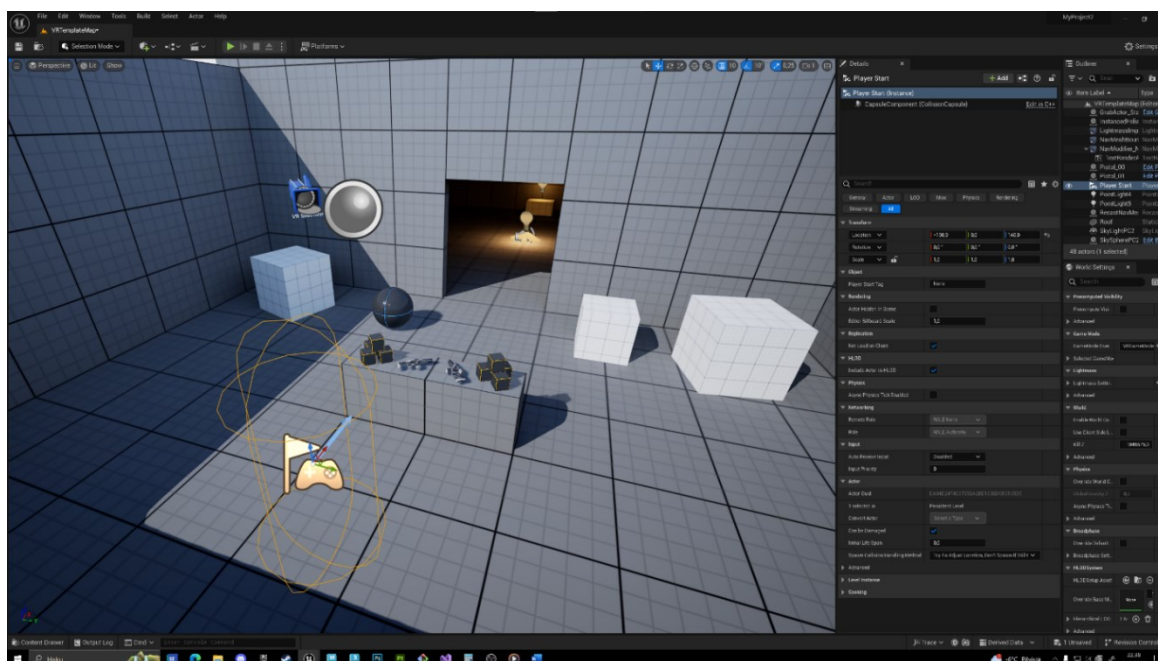


Kuva 15: 3ds Max objektin export asetukset.

Mallin siirron jälkeen on tärkeää tarkastaa Unreal Engine:ssä, että kaikki toimii, kuten pitäisi (Epic Games, 2023-b). Unreal Engine:ssä voidaan nyt myös lisätä valmiiseen objektiin materiaalit käyttäen esimerkiksi aiemmin mainittua Automotive Materials tekstuurikirjastoa, sekä luoda objektiin LOD-tasot, ellei objektissa käytetä Nanite ominaisuutta. LOD eli Level of Detail tarkoittaa objektin yksityiskohtien tasojen hallintaa. LOD tekee mallista karkeamman mitä kauempana 3D-maailmassa siitä ollaan. Käytännössä LOD-tasot keventävät siis objekteja käyttäjän sitä huomaamatta. Mikäli kappaleessa käytetään Nanitea ei mallissa tarvita LOD tasoja, sillä Nanite perustuu virtuaaliseen geometriaan ja se generoi LOD-tasot reaaliajassa hyödyntäen käyttäjän näytön resoluutiota ja etäisyyttä objekteihin. Kuvissa 16 ja 17 käsitellään uuden Unreal Engine -projektin luomista pelimoottorissa.

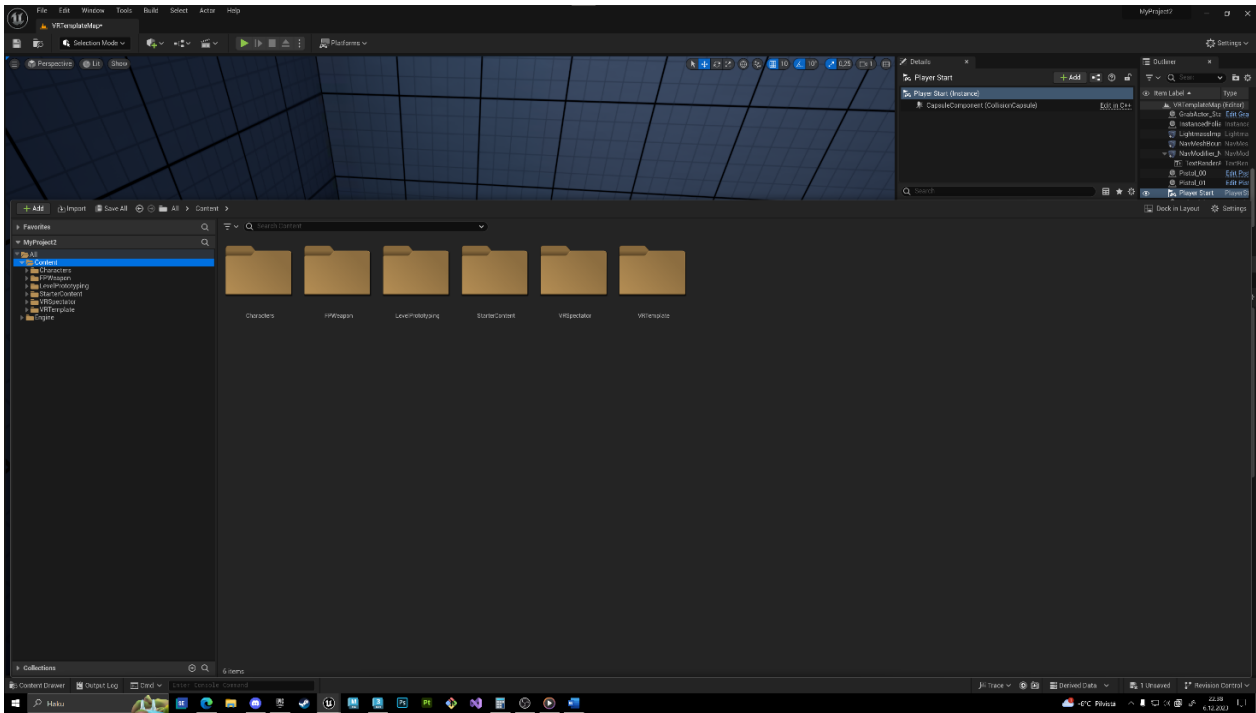


Kuva 16: Unreal Engine Project Browser valikko, jossa voi luoda uuden projektin.



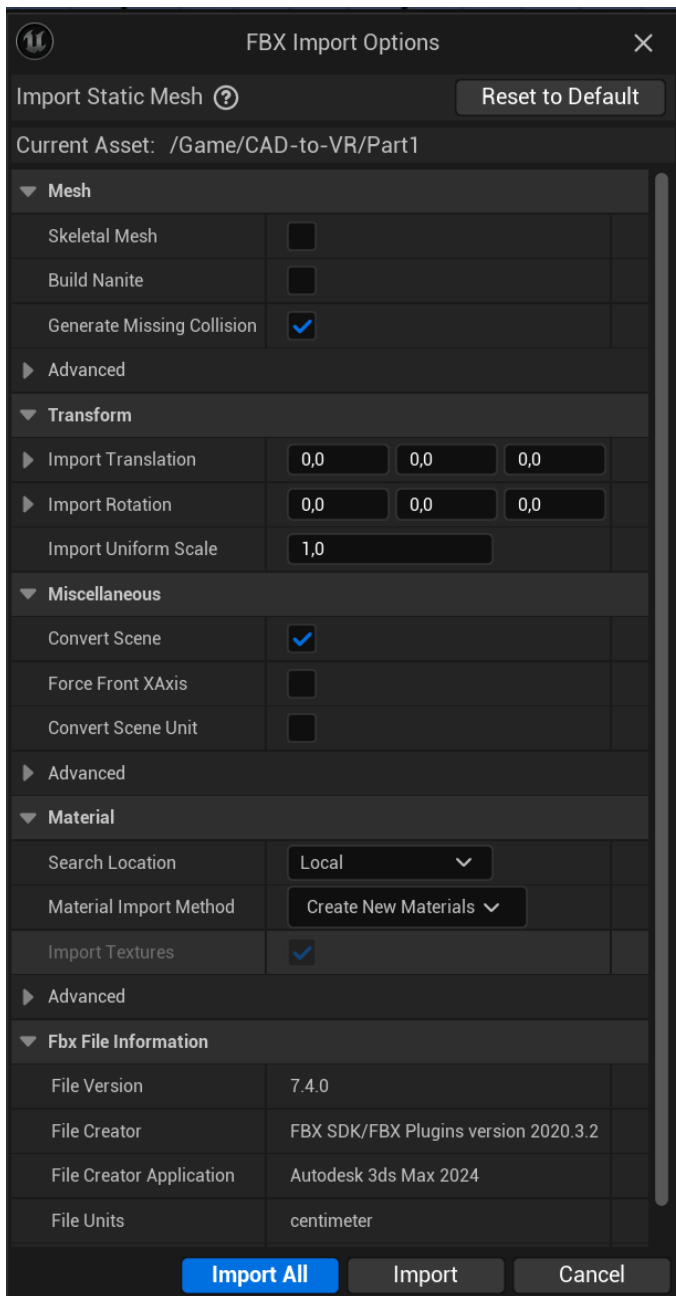
Kuva 17: Unreal Enginen tarjoama VR-pohja.

Objektin voi tuoda Unreal Engineen, kun uusi projekti on luotu (Epic Games, 2023-b). Objektin tuonti on mahdollista Unreal Enginen Content Drawerin kautta. Valikko aukeaa pelimoottorin vasemmasta alanurkasta Content Drawer-painikkeesta. Tiedostoja voi tuoda moottoriin Content Drawerin vasemmasta yläkulmasta löytyvästä Import-painikkeesta. Kuvassa 18 tarkastellaan Unreal Enginen Content Draweria.



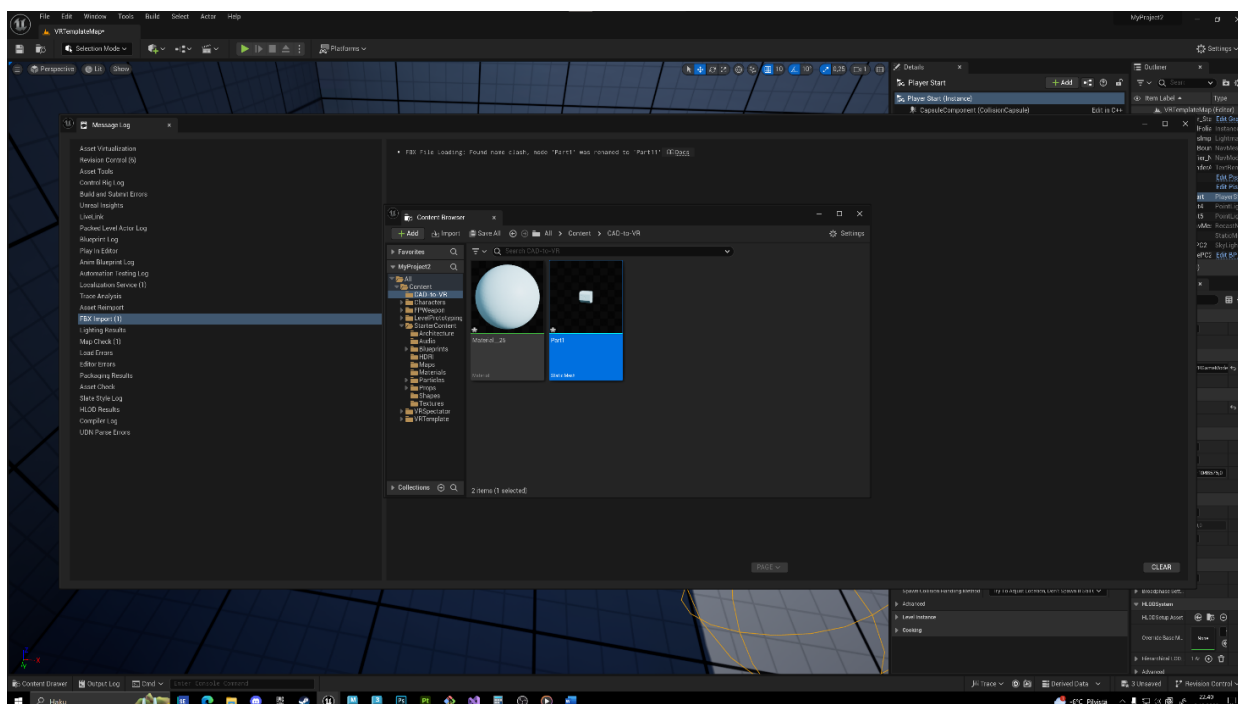
Kuva 18: Unreal Enginen Content Drawer. Täältä käyttäjä voi tuoda 3D-mallin pelimoottoriin.

Kuvassa 19 tarkastellaan FBX-tiedoston tuontia pelimoottoriin (Epic Games, 2023-e). Mikäli mallissa halutaan käyttää Nanite-ominaisuutta, tulee FBX-tiedoston tuonti vaiheessa painaa Build Nanite kohta valituksi. Naniten voi ottaa käyttöön tai poistaa käytöstä myös myöhemmin objektin asetuksista pelimoottorissa.

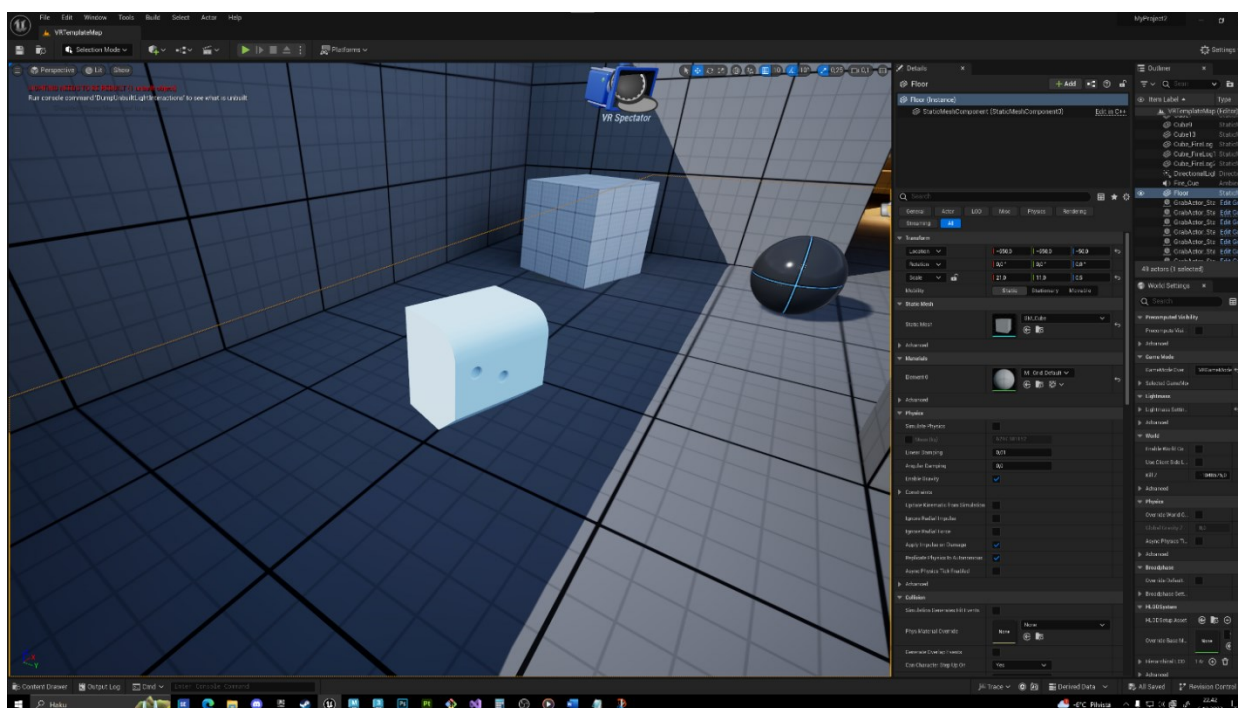


Kuva 19: Unreal Engine FBX-mallin tuontiasetukset.

Kuvissa 20 ja 21 objekti on tuotu pelimoottoriin FBX-tiedostomuodossa ja Unreal Engine on generoinut sille oman materiaalin. Materiaaliin olisi mahdollista lisätä tekstuureja ja luoda sitten monimutkaisiakin shader-konfiguraatioita kappaleelle. Myöhemmin kuvassa 24 tarkastellaan Automotive Materials -materiaalikirjastoa.



Kuva 20: Unreal Engineen tuotu objekti ja Unreal Engineen generoitu materiaali objektille.



Kuva 21: Esimerkki objekti, joka on tuotu Solid Edgestä STEP-tiedostomuodossa 3ds Maxin kautta FBX-tiedostomuodossa Unreal Engineen.

3.1.7 Ongelmat ja ratkaisut

Esimerkki ongelmakohdasta voisi olla vaikkapa kokoonpano autosta, jonka korin väri halutaan siniseksi ja peilit mustaksi. Ongelmaksi tässä tapauksessa voisi tulla mallin uv-rajat eli UV-Mapping. Mallin UV-rajat voivat olla yhdessä kanavassa, jolloin koko muusta mallista tulee korin värin mukaan sininen, peilit mukaan lukien. Tämä voitaisiin korjata määrittämällä mallille uudet UV-rajat ja teksturoimalla se uudelleen. Vaiheen voi suorittaa mallia kevennettäessä erillisellä 3D-ohjelmalla, kuten Blender tai Autodesk 3ds Max tai Unreal Engine 5 -pelimoottorin omalla UV-mapping työkalulla.

3.1.8 Topology ja Retopology

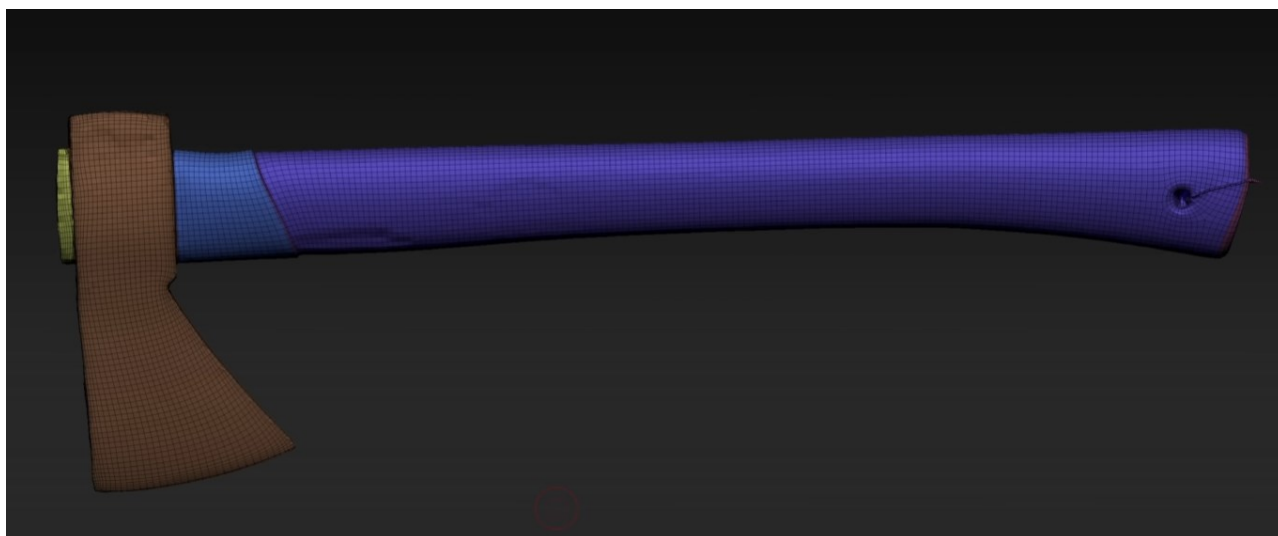
Topologia tarkoittaa 3D-mallin geometristä rakennetta (DECODED, 2023). Topologia kuvaa polygonien jakautumista mallin pinnalla, ja se vaikuttaa suoranaisesti suorituskyykyyn ja mallin laatuun. Korkea Topologia voi olla suorituskyyvylle huonoa, ja se voi olla samalla myös haastavaa käsiteltävää esimerkiksi teksturoinnissa. Kuvassa 22 tarkastellaan 3D-skannattua objektia ja sen Topologiaa.



Kuva 22: 3D-skannatun kappaleen mesh-verkosto (William Faucher, 1.2.2023).

Retopology tai Retopologia tarkoittaa prosessia, jossa korkeapolygonisen mallin pinta verkotetaan uudelleen (Autodesk, 2023-a). Prosessin tavoitteena on tuottaa malli, joka on helpompi animoida, renderöidä, teksturoida ja joka on paremmin soveltuva tietyntylaisille alustoille, kuten pelimoottoreille. Tämä vaihe voidaan toteuttaa monissa eri ohjelmissa, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään tämän vaiheen osalta vain Autodesk 3ds Maxiin.

Retopologyn tarve voi tulla esiin esimerkiksi 3D-skannatuille objekteille tai korkearesoluutisille malleille (Autodesk, 2023-a). Retopologyn lisäksi kannattaa perehtyä 3ds Maxin tarjoamaan ProOptimizer -työkaluun, jonka avulla voidaan vähentää mallin geometriaa säilyttämällä silti alkuperäisen mallin yksityiskohtia. Retopologyn jälkeen malliin voidaan luoda uudet UV-mapit eli tekstuurien koordinaatit 3D-mallin pinnalle. Retopologyn tuloksena saavutetaan kevyempi ja käytännöllisempi 3D-malli. Kuvassa 23 tarkastellaan 3D-skannatun objektin versiota, johon on tehty Retopology-käsittely.

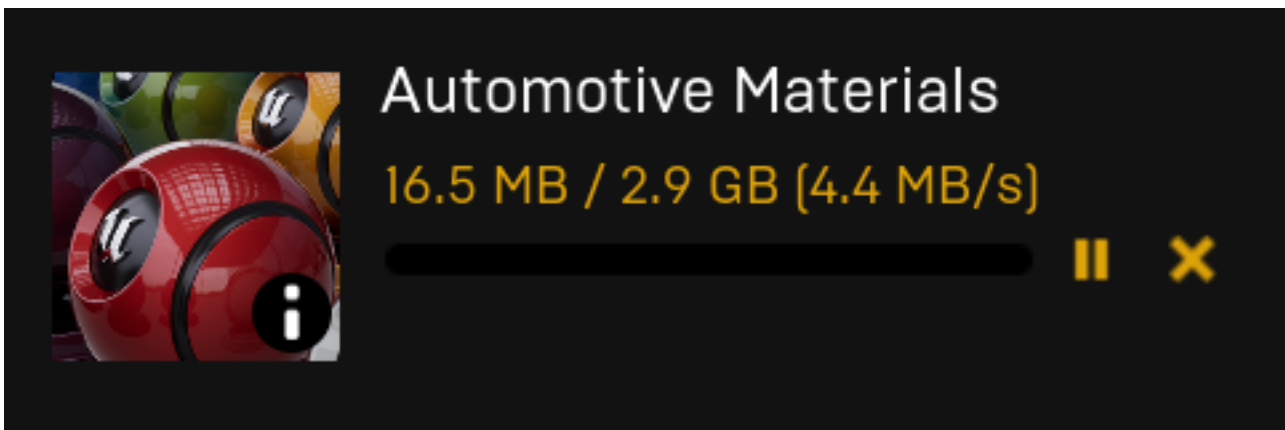


Kuva 23: 3D-skannatun kappaleen mesh-verkosto Retopology-käsittelyn jälkeen (William Faucher, 1.2.2023).

3.1.9 Teksturointi

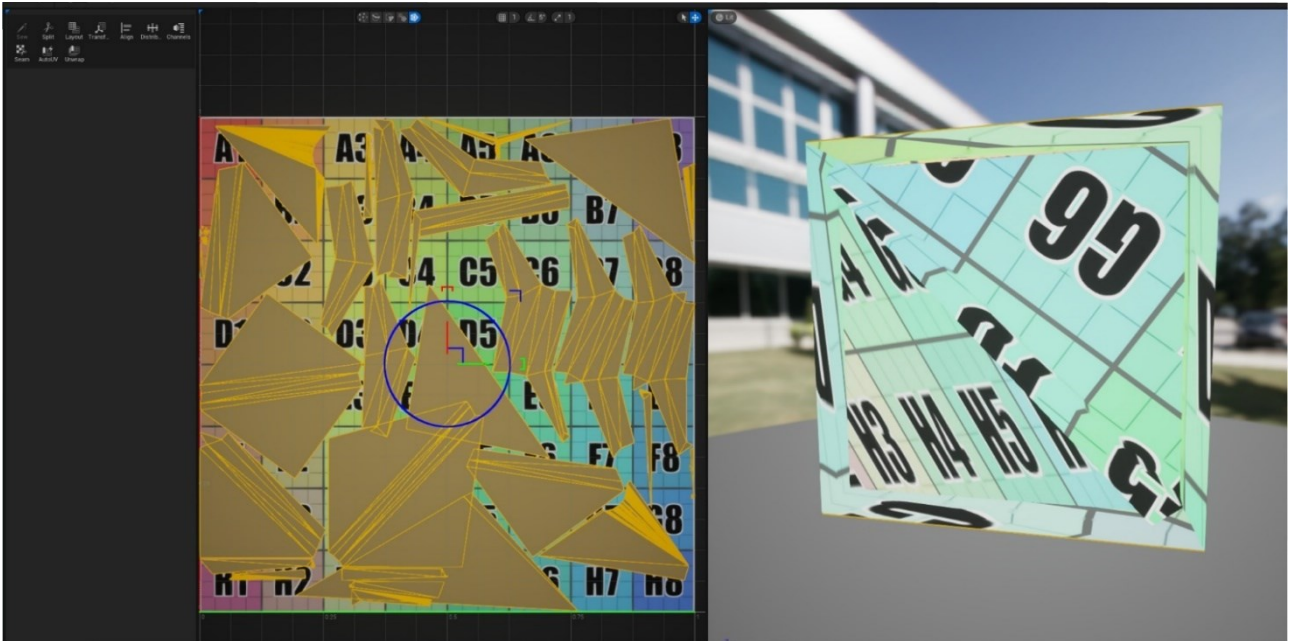
Teksturointi 3D-grafiikassa on prosessi, jossa hyödynnetään 2D-kuvia eli tekstuureita. Tekstuureista määritetään koordinaatit UV-mappauksessa 3D-mallin pinnalle. UV:t ovat siis käytännössä koordinaatteja, jotka kertovat alueen, jonka tekstuuri kattaa tietyltä alueelta 3D-mallista.

Tekstuureissa voidaan käyttää myös monia erilaisia tekniikoita, kuten bump mapping. Tämä tarkoittaa sitä, että perustekstuurin rinnalle asetetaan toinen tekstuuri, joka sisältää informaatiota pinnan epätasaisuuksista. Tämä tekee kappaleesta kolmiulotteisemman mitä se todellisuudessa on, mikä säästää laskentaresursseja. Nanite mahdollistaa nykyään kuitenkin miljoonien polygonien striimaamisen, joten yksityiskohtaista geometriaa on mahdollista toteuttaa käyttämättä bump mapping tekniikkaa.



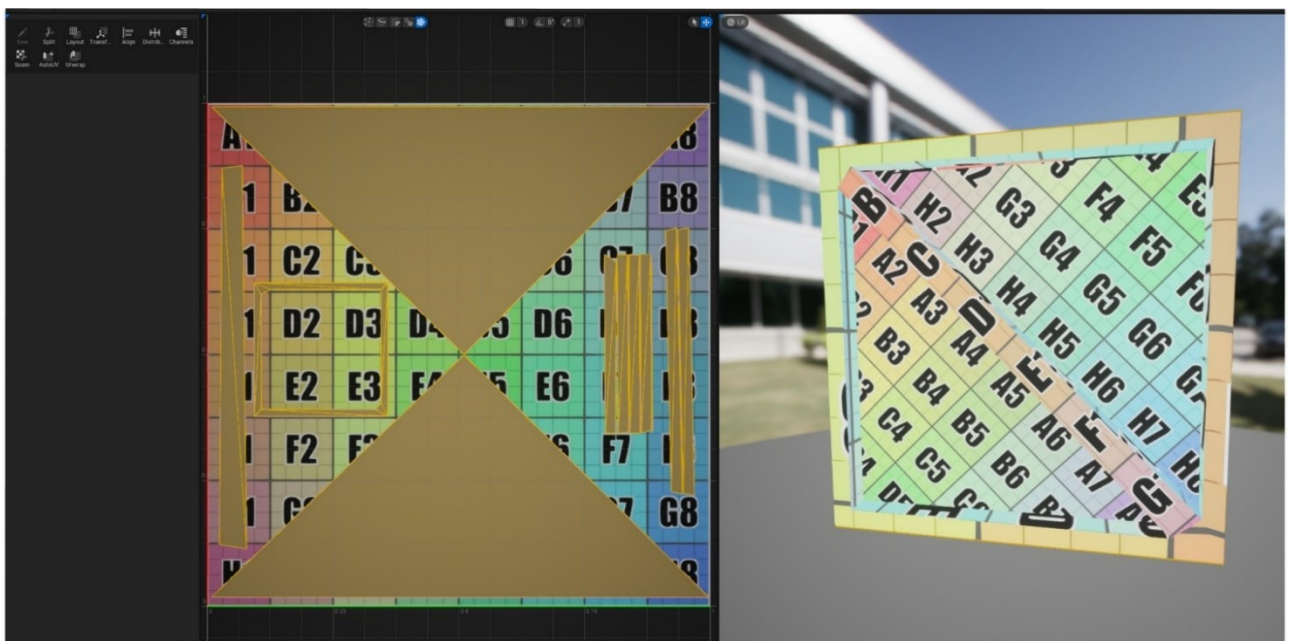
Kuva 24: Automotive Materials tekstuurikirjasto (Epic Games, 2023).

Kuvissa 25 ja 26 tarkastellaan mallin UV-rakennetta. Kuvassa 25 on sekava UV-rakenne, jota on hankala teksturoida, sillä teksturointi on 3D-mallissa useaan eri suuntaan ja rakenne on yleisesti sekava.



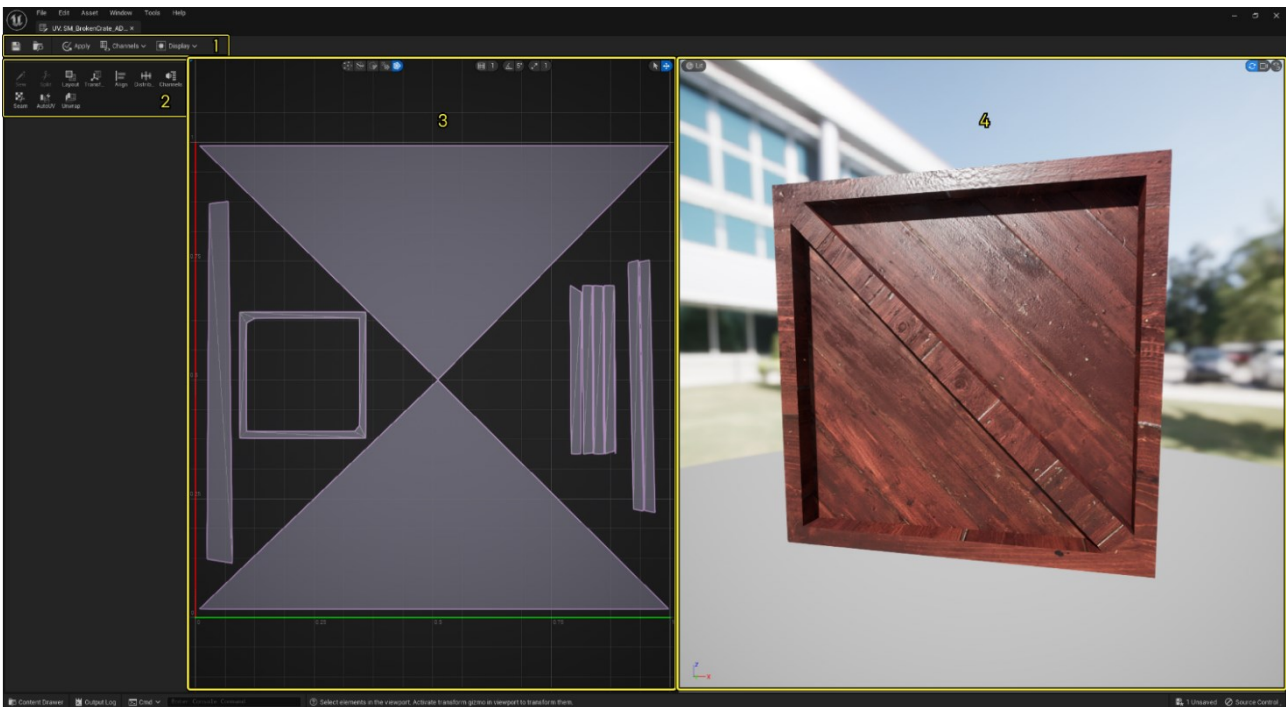
Kuva 25: Vääristynyt UV-rakenne (Epic Games, 2023).

Kuvasta 26 huomaa, miten tärkeitä selkeät UV-rajat ovat. Ne tekevät kappaleen teksturoinnista nopeaa ja vaivatonta, ja lisäksi objekti tulee näyttämään paljon paremmalta kunnolla viimeisteltynä.



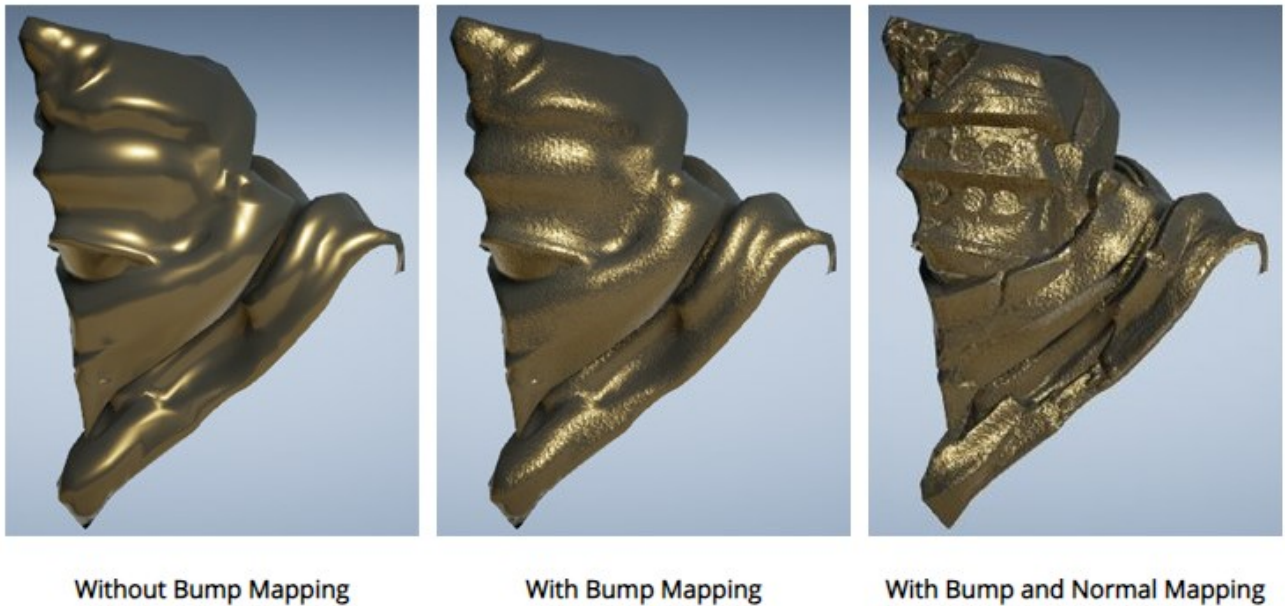
Kuva 26: Siistit UV-rakenteet (Epic Games, 2023).

Kuvassa 27 näkyy teksturoituna kuvan 26 objekti. Objekti on siisti, sillä UV-rajaus on selkeä ja yksinkertainen, jolloin se on myös helppo teksturoitava.



Kuva 27: Unreal Engine UV-Editori (Epic Games, 2023).

Kuvassa 28 tarkastellaan Bump mapping -tekniikkaa. Bump mappingilla on mahdollista lisätä tekstuureilla kappaleeseen yksityiskohtia ja nostaa objektin tasaista pintaa kolmiulotteisempaan muotoon. Bump mappingin tarkoituksena on vähentää objektista polygon määriä. Tulevaisuudessa tekniikka tulee todennäköisesti katoamaan, sillä Nanite-tekniikka mahdollistaa korkeapolygonisen mallin käytön, jolloin objektin pinnasta voidaan luonnollisesti tehdä monimutkaisempi.



Kuva 28: Bump mapping -tekniikan vertailua (Epic Games, 2023).

3.2 Vaihtoehtoinen keino

Tärkeää on tarkastella myös muita mahdollisia keinoja konvertoida halutut kappaleet pelimootorille sopivaan muotoon. 3D-skannaus voi olla järkevää ja mahdollista, mikäli yrityksellä on olemassa valmiit kappaleet, jotka halutaan virtuaalitodellisuuteen. Tällöin 3D-skannaus saattaa olla nopein ja yksinkertaisin tapa integroida malli.

3.2.1 Reverse engineering, 3D-skannaus

Reverse engineering voi tarkoittaa eri tilanteissa eri asioita, mutta käsite kuitenkin käsittää samaa periaatetta aiheesta riippumatta. Reverse engineering tarkoittaa sitä, kun tarkastellaan jotain jo olemassa olevaa valmista asiaa ja yritetään käänteisesti luoda se uudelleen. Tällä kertaa tutkitaan 3D-skannausta helposti mukana kulkevalla laitteella eli puhelimella. Objektiin eli esineeseen voi skannata siis helposti esimerkiksi puhelimeen ladattavilla eri sovelluksilla. Tällainen sovellus on esimerkiksi Luma AI.

3.2.2 3D-skannauksen hyödyt ja haitat

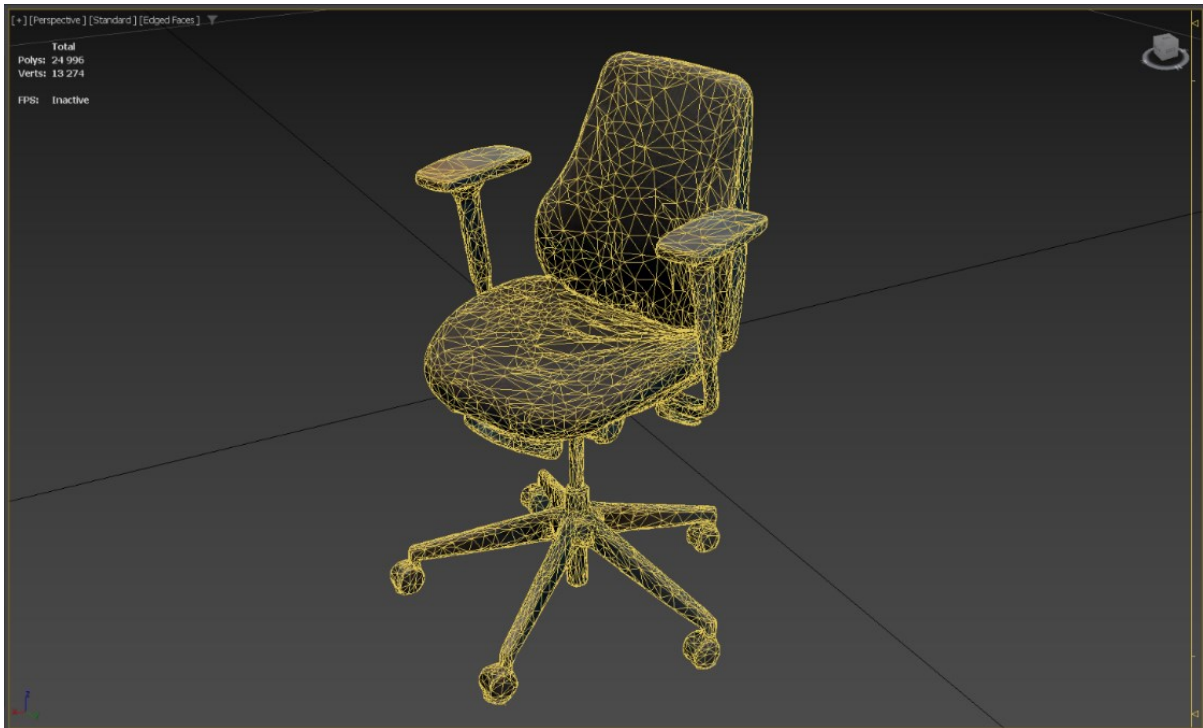
Yleisesti 3D-skannauksissa ongelma on ollut suurikokoiset polygoni- ja verteksimäärät (Autodesk, 2023-a). Tämä tarkoittaa sitä, että kappaleen käsittelystä voi tulla monimutkaista, eikä se välttämättä ole järkevää. Mahdollisia työkaluja, joilla kappaleita voi yrittää yksinkertaistaa on esimerkiksi 3ds Max ohjelma, ja siitä löytyvät työkalut ProOptimizer ja Retopology.

3.2.3 Tulevaisuuden näkymät 3D-skannaukselle

Tulevaisuuden näkymät 3D skannaukselle ovat hyvät. Skannaus on helppoa, nopeaa ja sovellukset ohjeistavat hyvin alkuun. Korkeat Poly- ja Vertex countit eivät tule olemaan tulevaisuudessa ongelma, sillä tekniikat, kuten Nanite kehittyvät jatkuvasti. Skannausohjelmat kehittyvät myös nopeaa tahtia entistä paremmiksi.

3.2.4 Luma AI, 3D-skannaus

Luma AI on tekoälypohjainen 3D-skannausohjelmisto puhelimelle (Luma AI, 2022). 3D-skannaus on ottanut suuria harppauksia viime vuosina, ja se on siksi tärkeää nostaa mahdolliseksi käytäntötavaksi. 3D-skannaus saattaa olla pelimoottorille jossain tapauksessa parempi vaihtoehto CAD-mallien sijaan, sillä CAD-malleissa on usein runsaasti mekaanisia osia piilossa rakenteissa, ja nämä syövät turhaan resursseja suorituskyvystä. Opinnäytetyön kuvassa 29 on esillä Luma AI -sovelluksella 3D-skannattu malli toimistotuolista.



Kuva 29: Luma AI -sovelluksella 3D-skannattu malli.

4 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyö pohjautui usean vuoden kokemukseen, eri ohjelmien testailuun ja haluun tuottaa visuaalisesti näyttävää sisältöä. Kokemusta virtuaalitodellisuudesta ei ennen opinnäytetyötä ollut, mutta tämän opinnäytetyön kautta päästiin syventymään myös virtuaalitodellisuuteen ja sen tarjoamiin mahdollisuuksiin, sekä havainnointiin siitä minkälaisessa kehitysvaiheessa virtuaalitodellisuus tällä hetkellä on muun muassa virtuaalilasien osalta ja mitä virtuaalitodellisuudelta voidaan mahdollisesti odottaa tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä käytiin laajasti läpi eri työn vaiheita, termejä, ongelmakohtia ja mahdollisia ratkaisuja erilaisiin ongelmiin CAD-mallien integraatioprosessissa Unreal Engineen. Opinnäytetyön aikana löytyi muutamia hyviä työkaluja, kuten 3ds Maxin työkalu Retopology ja ProOptimizer, Unreal Enginen UV-mapping ominaisuus ja Luma AI 3D-skannaus puhelinsovelluksella.

Yhteenvetona opinnäytetyö oli onnistunut ja sen aikana löydettiin tapa redusoida CAD-mallit Unreal Engineen käytettäväksi virtuaalitodellisuudessa menettämättä malleista pinnanlaatua. Opinnäytetyön lopputuloksena virtuaalitodellisuusjärjestelmä otettiin käyttöön yrityksessä, johon opinnäytetyön aikana redusoitiin suuri kokoonpano.

LÄHTEET

- 5d studio. (10.10.2020). Reducing the polygons and size of 3ds max block (ProOptimizer) [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=hEHm5T-I-Y>
- Autodesk. (2023 -a). Retopology Tools for 3ds Max. <https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2024/ENU/?guid=GUID-57B77A00-5300-47CB-99E1-22B9C536B060>
- Autodesk. (2023 -b). ProOptimizer Modifier. <https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2024/ENU/?guid=GUID-109C880F-181B-4067-91F0-B4EF79639FB3>
- Bernard Marr. (8.3.2021). What is Virtual Reality (VR) In 60 Seconds. [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=YLb1qnmsceA>
- CNET. (31.8.2020). Elon Musk's Neuralink brain chip demo explained. [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=KsX-7hS94Yo&t=1s>
- DECODED. (19.2.2023). Five Topology Tips Every 3D Artist Should Know. [video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=m8JkR6tl_q4
- Epic Games. (6.9.2023 -a). CAD File Formats. <https://docs.unrealengine.com/5.3/en-US/importing-cad-files-into-unreal-engine-using-datasmith/>
- Epic Games. (6.9.2023 -b). Importing Assets Directly. <https://docs.unrealengine.com/5.3/en-US/importing-assets-directly-into-unreal-engine/>
- Epic Games. (5.10.2023 -c). Licensing options. <https://www.unrealengine.com/en-US/license>
- Epic Games. (6.9.2023 -d). Lumen Global Illumination and Reflections. <https://docs.unrealengine.com/5.3/en-US/lumen-global-illumination-and-reflections-in-unreal-engine/>
- Epic Games. (6.9.2023 -e). Nanite Virtualized Geometry. <https://docs.unrealengine.com/5.3/en-US/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine/>
- Epic Games. (13.9.2022 -f). Mipmaps, Texture Sizes, and Texture Pool. <https://dev.epicgames.com/community/learning/tutorials/1Yno/unreal-engine-mipmaps-texture-sizes-and-texture-pool>
- IO-Tech. (13.5.2020 -a). Epic Games julkisti Unreal Engine 5 -pelimoottorin. <https://www.io-tech.fi/uutinen/epic-games-julkaisi-unreal-engine-5-pelimoottorin/>

IO-Tech. (9.2.2021 -b). Langattomat VR-Lasit – Oculus Quest 2. [video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=teKtKdCsMtE>

Jose M. Elizardo. (14.12.2020). 3ds Max Retopology [video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=b8MjqBjO1M0&t>

Luma AI. (4.11.2022). Getting Started with Luma AI: Guided Capture Mode [video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=JXb_a3ZIGnI

McLaren Automotive. (22.3.2018). How McLaren Automotive uses virtual reality to design its sportcars and supercars. [video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=mWaQfjEJIMQ>

Meta. (i.a. -a). Laajenna maailmaasi Meta Quest 3:n avulla.
<https://www.meta.com/fi/quest/quest-3/>

Meta. (i.a. -b). Aloita Meta Quest 2:n käyttö.
<https://www.meta.com/fi/quest/products/quest-2/>

Meta Quest. (27.9.2023). This is Meta Quest 3. [video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=Exu7r2vZpcw>

Nebulaoblivion. (29.11.2014.) 3DS MAX: Simple smoothing group explanation. [video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=8au5H_r4Kmk

OpenAI. (2024). ChatGPT (Jan 10 version) [Large language model].
<https://chat.openai.com/>

Perception Engineering. (29.4.2019.) Basic Unreal Importing.
<https://www.perceptioneng.com/blogold/2018/9/25/basic-unreal-importing>

Unreal Engine. (13.5.2020 -a). Unreal Engine 5 Feature Highlights | Next-Gen Real-Time Demo Running on PlayStation 5 [video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=qC5KtatMcUw>

Unreal Engine. (25.4.2018 -b). BMW Brings Mixed Reality to Automotive Design | Project Spotlight | Unreal Engine [video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=A90IdpFe3o>

Unreal Engine. (23.5.2018 -c). How Animech Designed a Volkswagen VR Experience that Sells | Project Spotlight | Unreal Engine [video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=MjIII4vW2WA>

Unreal Sensei. (7.9.2023). Why Unreal Engine 5.3 is a BIG Deal [video]. Youtube.
https://www.youtube.com/watch?v=POwTaVZ_CA0

VR Space. (15.3.2022). What is Virtual Reality? [video]. Youtube.
https://www.youtube.com/watch?v=Z_0iFPRYAbI

VRelity. (10.6.2023). Full Dive VR is COMING – The Virtual Reality Future. [video].
Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=xrQpc8E7SXw>

William Faucher. (1.2.2023). How I made this shot in Unreal Engine 5 [video]. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=HbGJyQVq3tk>