

# **HIGH DEFINITION RENDER PIPELINEN TEHOKAS HYÖDYNTÄMINEN UNITY-PELIMOOTTORILLA**

Jussi Lesonen  
Opinnäytetyö (AMK)  
Syksy 2025  
Tieto- ja viestintäteknikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma  
Ohjelmistokehitys

Tekijä(t): Jussi Lesonen

Opinnäytetyön otsikko: High Definition Render Pipelinen tehokas hyödyntäminen Unity-pelimoottorilla

Työn ohjaaja(t): Meija Lohiniva

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2025

Sivumäärä: 57

Opinnäytetyö käsittelee Unity-pelimoottorin High Definition Render Pipelinen, eli HDRP:n asetusten ja efektien tehokasta hyödyntämistä virtuaalisessa ympäristössä.

Työn on tilannut Group Builder Oy, joka kehittää nettiselaimessa käytettävää asunnon suunnittelutyökalua. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää optimaaliset asetukset HDRP:ssä visuaalisen laadun sekä suorituskyvyn tasapainottamiseksi ja 3D-mallien optimointi virtuaalisen ympäristön reaaliaikaista renderöintiä varten. Tutkimustyössä on hyödynnetty olemassa olevaa tietotaitoa aihepiiriin liittyen sekä Unityn omaa dokumentaatiota ja muita lukuisia foorumeita ja artikkeleita.

Opinnäytetyön ensimmäisessä osassa perehdytään aiheessa käsiteltäviin keskeisiin asioihin lyhyehköillä kuvauksilla. Toisessa osassa havainnollistetaan kyseisiä asioita käytännön esimerkeillä. Kolmas osa keskittyy tutkimustyön varsinaiseen tarkoitukseen, eli HDRP:n asetusten optimointiin reaaliaikaista renderöintiä varten.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, minkälaiset asetukset HDRP:ssä tulee säätää optimaalisen suorituskyvyn sekä kuvanlaadun kannalta ja mikä on tehokas tapa toteuttaa 3D-malleja tällaisia ympäristöjä varten. Työssä dokumentoidaan, millä tavalla HDRP:n eri teknologiat vaikuttavat laitteiston resurssien käyttöön. Opinnäytetyön tuloksia voivat hyödyntää Group Builderin henkilöstö sekä opiskelijat, jotka voivat tutkia valmista tutkimustyötä.

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Program in Information Technology  
Option of Software Development

Author(s): Jussi Lesonen

Title of thesis: Maximizing High Definition Render Pipeline in the Unity Environment

Supervisor(s): Meija Lohiniva

Term and year when the thesis was submitted: autumn 2025

Number of pages: 57

The thesis explores the efficient utilization of the High Definition Render Pipeline (HDRP) settings and effects in the Unity game engine within a virtual environment.

The thesis was commissioned by Group Builder Oy, a company focused on developing a virtual tool for designing apartments. The purpose of this study is to identify the optimal HDRP settings to balance visual quality and performance, as well as to determine best practices for optimizing 3D models for real-time rendering in virtual environments. The research is based on existing knowledge related to the topic, Unity's own documentation, and various forums and articles. The first part of the thesis introduces the key concepts of the topic through brief descriptions. The second part demonstrates these concepts with practical examples. The third part focuses on the core objective of the study: optimizing HDRP settings for real-time rendering.

As a result of the thesis, the optimal HDRP settings for achieving a balance between performance and image quality were identified, along with efficient methods for creating 3D models suitable for such environments. The study also documents how different HDRP technologies affect hardware resource usage. The findings of the thesis can be utilized by Group Builder's staff as well as students who wish to explore the completed research work.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
SISÄLLYS .....	4
SANASTO .....	6
1 JOHDANTO .....	10
2 HDRP:N TARJOAMAT TEKNOLOGIAT .....	11
2.1 Anti-aliasing (reunanpehmennys) .....	11
2.2 Depth of field (syväterävyysalue) .....	12
2.3 Bloom (hehku) .....	12
2.4 Ambient occlusion (ympäristön varjostus) .....	13
2.5 Ray tracing (säteenseuranta) .....	13
2.6 Light layers (valokerrokset) .....	14
2.7 Tessellation (tessellaatio) .....	14
2.8 Texture maps (tekstuurikartat).....	15
2.9 Physically based rendering (fyysisesti perustuva renderöinti) .....	16
2.10 Motion blur (liikkeen sumennus) .....	16
2.11 3D-mallit .....	17
2.12 Shaderit .....	18
3 HDRP:N TEKNOLOGIAT KÄYTÄNNÖSSÄ .....	19
3.1 Eri reunanpehmennysteknologiat .....	19
3.2 Depth of field-efekti .....	21
3.3 Bloom-efekti .....	22
3.4 Screen space ambient occlusion-efekti .....	23
3.5 Ray tracing -teknologian ominaisuudet .....	24
3.6 Valokerrokset .....	26
3.7 Tessellaatio .....	26
3.8 Tekstuurikarttojen käyttö .....	27
3.9 Fyysisesti perustuva renderöinti .....	29
3.10 Liikkeen sumennus .....	29
3.11 3D-mallien optimointi .....	31
3.12 Erilaiset shaderit HDRP:ssä .....	35

4	TYÖPROSESSIN VAIHEET .....	42
4.1	Assettien valmistelu ja vienti Unityyn .....	42
4.2	Ympäristön valmistelu .....	45
4.3	Peliobjektit ja efektien mukautus .....	46
4.4	Yhteenveto .....	50
5	POHDINTA .....	52
	LÄHTEET .....	53

## SANASTO

AO	AO (ambient occlusion) on efekti, jota hyödynnetään pintojen nurkkien ja kolojen varjostamiseen (GarageFarm.NET Ltd, 2025).
artefakti	artefakti (engl. artifact) tarkoittaa grafiikassa ei-toivottua virhettä tai vääristymää kuvassa (Brookes, 15.7.2021).
asset	assetit ovat videopelikehityksessä käytettäviä asioita, esim. 3D-objektit, animaatiot, ääniefektit jne (Autodesk, Inc., 2025).
DOF	DOF (depth of field) on visuaalinen efekti, jolla simuloidaan objektien etäisyyttä katsojan näkökulmasta sumentamalla niitä (Unity Technologies, 18.10.2023).
fotorealismi	fotorealismi (engl. photorealism) tarkoittaa taiteessa ja grafiikassa pyrkimystä jäljitellä todellisuutta mahdollisimman tarkasti, usein valokuvamaista tarkkuutta tavoitellen (Tieteen Termipankki, 1.10.2016).
FPS	FPS, eli frames per second, kuvaa, kuinka monta yksittäistä kuvaa näytetään näytöllä yhden sekunnin aikana. Korkeampi FPS-arvo tuottaa sulavamman kuvan tai animaation (Lenovo Group Limited, 2025b).
HDRP	HDRP (high-definition render pipeline) on Unity -pelimoottoriin sisältyvä renderöintiputki, joka kattaa lukuisia efektejä ja työkaluja realististen ympäristöjen ja skenaarioiden luomiseen (Unity Technologies, 2024b).
hehku	hehku (engl. bloom) on efekti, jolla valon hehkun voimakkuutta lisätään kuvassa (Unity Technologies, 12.7.2017a).

kärkipiste	kärkipisteet (engl. vertex) ovat 3D-mallinnuksessa objektin muodon perusosia, joita kolme tai useamman yhdistämällä saadaan polygoni, joista objektin geometria koostuu (O'Reilly Media, 2025).
LOD	LOD, eli level of detail tai tarkkuustaso, määrittelee kuinka paljon yksityiskohtia 3D-malli sisältää riippuen ympäristössä olevan kameran etäisyydestä objektiin (Wall, 31.1.2023).
liikkeen sumennus	liikkeen sumennus (engl. motion blur) on efekti, joka simuloi liikkuvien objektien tai kameran liikkeen aiheuttamaa liikkeen sumentumista (Unity Technologies, 16.6.2022).
offline-renderöinti	offline-renderöinti (engl. offline rendering) tarkoittaa 3D-ympäristön tallentamista staattiseen kuvaan (Malkosh;Violette;& Evans, What is offline rendering?, 2025).
PBR	PBR (physically based rendering), eli fyysisesti perustuva renderöinti, jolla saavutetaan realistisen valaistuksen simulointi erilaisissa skenaarioissa (Unity Technologies, 9.6.2023).
polygoni	polygoni (engl. polygon) on suljettu kaksiulotteinen muoto, joka koostuu suorista viivoista, jotka yhdistyvät toisiinsa päistään muodostaen monikulmion (Adobe, 2025a).
rasterointi	rasterointi (engl. rasterization) tietokonegrafiikassa käytettävä prosessi, jossa vektorigrafiikka tai kolmiulotteinen mallinnus muunnetaan pikselipohjaiseksi kuvaksi näytölle (Merriam-Webster, 19.3.2025).

reaaliaikainen renderöinti	reaaliaikainen renderöinti (engl. real-time rendering) tarkoittaa virtuaalisen ympäristön visuaalisten yksityiskohtien tallentamista näytölle reaaliajassa (Malkosh;Violette;& Evans, What is real-time rendering?, 2025).
reunanpehmennys	reunanpehmennys (engl. anti-aliasing) on graafinen efekti, jolla pyöristetään virtuaaliympäristön 3D-objektien teräviä kulmia ja sahalaitareunoja, mikä parantaa kuvan visuaalista laatua (Lenovo Group Limited, 2025a).
scene	scenet ovat Unityssä 3D-ympäristöjä, joissa ohjelmointi tapahtuu. Tässä tilassa käsitellään 3D-malleja, efektejä ynnä muuta peliohjelmointiin liittyvää (Unity Technologies, 13.5.2025).
shader	shaderit Unityssä ovat lyhyehköjä kooditiedostoja, jotka sisältävät laskelmia ja algoritmeja jokaisen renderöidyn pikselin värin laskemiseen valaistuksen ja materiaalin kokoonpanon perusteella (Unity Technologies, 12.7.2017b).
tekstuurikartat	tekstuurikartat (engl. texture maps) ovat kaksiulotteisia kuvia, joita käytetään määrittämään 3D-objektin pinnan ulkonäkö (SEDDI Optical and Mechanical Science Teams, 21.11.2023).
tessellaatio	tessellaatio (engl. tessellation) on teknologia, joka lisää objektin geometrian kolmioita dynaamisesti renderöinnin aikana (Be Content, 5.2.2024).
UV-kartta	UV-kartta (engl. UV-map) on kolmiulotteisen objektin pinnan heijastus kaksiulotteiselle kuvalle (Adobe, 2025b).

valokerrokset

valokerrokset (engl. light layers) on ominaisuus, joka avulla voidaan määrittää, mitkä valot vaikuttavat mihinkin objekteihin (Unity Technologies, 18.10.2023).

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö keskittyy Unity -pelimoottorissa käytettävän High Definition Render Pipelinen (HDRP) optimointiin eli kyseisen renderöintiputken resurssien tehokkaaseen hyödyntämiseen virtuaalisessa ympäristössä (Unity Technologies, 2024b). HDRP tuo pelikehitykseen mukanaan useita edistyneitä teknologioita, kuten fyysisesti perustuvan renderöinnin (Unity Technologies, 9.6.2023).

Mukana ovat myös jälkikäsittelyvaiheen efektit (post-processing effects), joiden avulla voidaan parannella sovelluksen immersiota ja visuaalista uskottavuutta (Unity Technologies, 2025). Näihin kuuluvat muun muassa bloom, depth of field (DOF) ja screen space ambient occlusion (SSAO).

HDRP sisältää lisäksi volumetrisen valaistuksen ja sumun, jotka mahdollistavat esimerkiksi valon siivilöitymisen sumun tai pölyn läpi realistisella tavalla (Hakimi, 2019). Renderöintiputki tukee myös reaaliaikaista säteenseurantaa (real-time ray tracing) – kehittyntä grafiikkatekniikkaa, jota hyödynnetään erityisen realististen valotehosteiden luomiseen peleissä ja muissa 3D-sovelluksissa (Knapp, 2023).

Tutkimustyössä paneudutaan lisäksi anti-aliasing-teknologiaan ja sen eri osa-alueisiin käytännön esimerkeillä ja testaamisella (Lenovo Group Limited, 2025a). Opinnäytetyön painopiste on näiden teknologioiden tutkimisessa ja hyödyntämisessä Unity-ympäristössä mahdollisimman tehokkaasti. Työ toteutetaan Group Builder Oy:n toimeksiannosta, ja sen tavoitteena on vastata yrityksen esittämiin kysymyksiin sekä pohjustaa aihepiirin perusasioita lukijalle, jolla ei ole ennestään kattavaa ymmärrystä aiheesta.

## 2 HDRP:N TARJOAMAT TEKNOLOGIAT

Tässä luvussa käydään tarkemmin läpi teknologioita, joita HDRP tarjoaa 3D-ympäristöjen realistiseen toteutukseen Unityssä.

### 2.1 Anti-aliasing (reunanpehmennys)

Anti-aliasing on laajalti tunnettu käsite pelikehityksessä ja 3D-ympäristöjen renderöinnissä (Lenovo Group Limited, 2025a). Sen avulla voidaan tasoittaa grafiikassa esiintyviä sahalaitaisia reunoja, mikä tekee lopputuloksesta pehmeämmän ja visuaalisesti miellyttävämmän. Anti-aliasing teknologiana kattaa joukon erilaisia reunanpehmennystekniikoita, joista voidaan valita sopivin käytettävissä olevien resurssien ja halutun visuaalisen laadun mukaan. Näihin tekniikoihin sisältyy:

- **FXAA**  
FXAA (fast approximate anti-aliasing), joka toimii jälkikäsittelyssä analysoiden viimeisimmän kuvan ja pehmentäen reunat kontrastin perusteella (Plugin Everything, 25.3.2020).
- **SMAA**  
SMAA (subpixel morphological anti-aliasing), joka toimii myös jälkikäsittelyssä mutta on älykkäämpi versio FXAA:sta ja säilyttää enemmän yksityiskohtaa (Arvi VR, 14.9.2018). Tämä tekniikka vaatii hieman tehokkaampaa laitteistoa.
- **TAA**  
TAA (temporal anti-aliasing), joka hyödyntää edellisten ruutujen tietoa reunojen pehmentämiseen (Roach, 10.7.2024). Hyvä vaihtoehto ympäristöihin missä ei tapahdu äkkinäisiä liikkeitä.

- **DLSS**

DLSS (deep learning super sampling), joka tulee mukana Nvidian näyttöohjaimissa ja käyttää tekoälyä kuvan skaalaamiseen ja reunojen pehmentymiseen (NVIDIA Corporation, 2025a). Pehmentää reunoja säästäten resursseissa tekoälyteknologian ansiosta.

Reunanpehmentymisen sivuvaikutuksena grafiikassa voi esiintyä pikseleiden vilkkumista tai välkettä erityisesti yksityiskohdissa, jotka ovat liian ohuita näytön pikselitiheyteen nähden – kuten aidat, ruohot tai kaukaiset rakennukset. Ilmiötä voidaan kuitenkin ehkäistä käyttämällä laadukkaampia anti-aliasing-tekniikoita ja säätämällä reunanpehmentymisen laatua korkeammalle.

## **2.2 Depth of field (syväterävyysalue)**

Depth of field, tai syväterävyys, on teknologia, joka simuloi oikean kameran linsin ominaisuuksia (Unity Technologies, 18.10.2023). Kun tämä asetus on käytössä, kauempana tai lähempänä olevat esineet näyttävät sumeilta riippuen niiden etäisyydestä katsojan näkökulmasta.

Aivan kuten oikean kameran linssiä, myös tätä efektiä voidaan säätää halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Sumeuden astetta ja vaikutusalueita voi muokata siten, että efekti vaikuttaa esimerkiksi vain lähellä kameraa, keskietäisyydellä tai kauempana oleviin kohteisiin.

## **2.3 Bloom (hehku)**

Bloom on efekti, jota käytetään jäljittelemään oikeiden kameroiden tuottamaa kuvavirhettä (Unity Technologies, 12.7.2017a). Se luo kirkkaiden alueiden reunoille säteileviä valokuovia, jotka korostavat vaikutelmaa siitä, että erittäin kirkas valo peittää näkyvyyden kamerassa tai katsojan näkökentässä.

Efektiä voidaan hienosäätää halutun lopputuloksen saavuttamiseksi — esimerkiksi lisäämällä suodattimia, jotka simuloivat linssin pinnalle kertynyttä likaa ja

tahroja. Tällaisia visuaalisia tehosteita käytetään yleisesti ensimmäisen persoonan videopeleissä lisäämään immersiota ja realismia.

## **2.4 Ambient occlusion (ympäristön varjostus)**

Ambient Occlusion-efekti tummentaa syvennyksiä, koloja, leikkauskohtia ja toisiaan lähellä olevia pintoja (GarageFarm.NET Ltd, 2025). Todellisessa maailmassa tällaiset alueet estävät ympäröivän valon pääsyä niihin, minkä vuoksi ne näyttävät tummemmilta. Tätä efektiä voidaan säätää Unityssä tietyn atmosfäärin saavuttamiseen, esimerkiksi kauhupeleissä varjostusta voidaan vahventaa synkän tunnelman luomiseksi.

## **2.5 Ray tracing (säteenseuranta)**

Ray tracing on renderointitekniikka, joka tuottaa uskottavampia renderöintejä kuin perinteinen rasterointi (Knapp, 2023). Se jäljittelee valon käyttäytymistä simuloimalla, miten valonsäteet kulkevat näkymässä ja miten ne heijastuvat, taittuvat ja osuvat pintoihin.

Ray tracing -asetuksella saadaan peleissä ja muissa 3D-ympäristöissä aikaan todentuntuisia valaistusefektejä, jotka jäljittelevät oikean elämän valon käyttäytymistä. Tämä teknologia on kuitenkin laitteistolle raskas ja vaatii runsaasti tehoa ja resursseja, joten se ei sovellu kaikille tietokoneille. Tähän renderointitekniikkaan sisältyy erilaisia teknologioita, joita yhdistelemällä saadaan aikaan vaikuttavia tuloksia. Näihin teknologioihin kuuluu:

- **Heijastukset**

Säteenseuranta mahdollistaa dynaamisten objektien ja ympäristöjen tarkat heijastukset. Toisin kuin perinteiset näytön tilaan perustuvat heijastukset, säteenseurannan avulla voidaan heijastaa myös ruudun ulkopuolella tai näkymättömissä olevia kohteita.

- **Varjot**

Pehmeät varjot luodaan säteenseurannan avulla, mikä tekee valon ja varjon välisestä siirtymästä realistisemman. Tämä jäljittelee varjojen käyttäytymistä oikeassa maailmassa ja lisää syvyyden ja todentuntuisuuden vaikutelmaa.

- **Globaali valaistus**

Säteenseuranta voi simuloida globaalia valaistusta, jolloin valo heijastuu pinnoista ja valaisee muita alueita. Tämä johtaa luonnollisempaan valaistukseen ja värien leviämiseen pintojen välillä.

- **Ympäristön varjostus**

Säteenseurannalla toteutettu ympäristön varjostus tuottaa tarkempaa varjostusta koloissa ja nurkissa, mikä parantaa syvyyden ja esineiden välisten tilasuhteiden hahmottamista.

- **Läpinäkyvyys ja valon taittuminen**

Säteenseuranta käsittelee läpinäkyviä materiaaleja ja valon taittumista tarkasti, mahdollistaen realistiset lasi- ja vesiefektit, jotka jäljittelevät valon käyttäytymistä sen kulkiessa eri aineiden läpi.

## **2.6 Light layers (valokerrokset)**

Valokerrokset HDRP:ssä on ominaisuus, jonka avulla valon vaikutusta eri objekteihin voidaan hallita tarkasti (Unity Technologies, 18.10.2023). Valot ja objektit voidaan asettaa eri kerroksiin, jolloin vain halutut valot vaikuttavat tiettyihin kohteisiin. Esimerkiksi, jos halutaan estää ympäristön auringonvaloa vaikuttamasta pelaajahahmoon, tämä on mahdollista valokerrosten avulla.

## **2.7 Tessellation (tessellaatio)**

Tessellaatio on teknologia, jonka avulla geometriaan voidaan lisätä yksityiskohtia dynaamisesti renderöinnin aikana (Be Content, 5.2.2024). Tämä mahdollistaa realistisemmat pinnat – kuten maa, kalliot tai nurmikko – ilman raskasta mallinustyötä. Teknologia on erityisen hyödyllinen tilanteissa, joissa tarvitaan tarkkaa pinnanmuotoa ja visuaalista syvyyttä.

Tessellaatio jakaa pinnan olemassa olevat kolmiot pienemmiksi osiksi suoraan näytönohjaimella, mikä lisää geometrian yksityiskohtaisuutta. Kolmioiden jakamisen määrää voidaan säätää tessellaatiokertoimella, jonka arvo riippuu halutusta lopputuloksesta. Mitä suurempi kerroin, sitä tarkempi pinta – mutta samalla myös suurempi suorituskykyvaatimus.

## 2.8 Texture maps (tekstuurikartat)

Tekstuurikartat ovat joukko kaksiulotteisia kuvia, joita yhdistämällä luodaan 3D-objektille lopullinen, yksityiskohtainen pintatekstuuri (SEDDI Optical and Mechanical Science Teams, 21.11.2023). Jokaisella karttatyypillä on oma tehtävänsä ja ne määrittävät miltä lopullinen tekstuuri näyttää. Näihin karttatyyppeihin sisältyy:

- **Väri**

Väri (base color/ albedo), joka sisältää pinnan perusvärin ilman valaistus- tai varjovaikutuksia.

- **Normaali**

Normaali (normal), johon on tallennettu pinnan yksityiskohtaisia muotoja, esim. kaakelipinnan saumat, puun syyt, asfaltin epätasaisuudet jne. Kartta luo illuusion kolmiulotteisesta pinnasta ilman, että geometriaa tarvitsee oikeasti muuttaa. Tämä säästää merkittävästi suorituskykyä ja resursseja.

- **Korkeus**

Korkeus (height), joka on harmaansävyinen kartta, joka kertoo pinnan korkeuseroista. Tätä käytetään esim. tessellaation kanssa muuttamaan geometrian muotoa.

- **Karheus**

Karheus (roughness), jolla määritellään pinnan sileys. Vaikuttaa valon heijastumiseen pinnasta. Karttakuvaa katsoessa musta väri vastaa sileää, eli kiiltävää ja valkoinen karheaa, eli mattaa. Näiden kahden värin väliin sijoittuu kaikki mahdolliset arvot määrittelemään pinnan karheus.

- **Metallisuus**

Metallisuus (metallic), joka kuvaavasti määrittelee, onko pinta metallinen vai ei. Samalla tavalla kuin karheuskartassa, tässä kuvassa metallisuuden arvoa

vastaa värit valkoinen ja musta. Valkoinen on täysin metallinen, musta taas täysin metalliton ja näiden kahden värin väliin sijoittuu tietty sävy vastaamaan haluttua metallisuustasoa.

- **Varjostus**

Varjostus (ambient occlusion), joka tummentaa pieniä varjokohtia, kuten koloja, reunoja ja nurkkia, antaen lisää syvyyttä ja realismia.

- **Hohto**

Hohto (emission), jolla määritellään, mitkä kohdat pinnasta hehkuvat. Tätä käytetään esim. neonvaloissa, laavassa tai scifi-efekteissä.

HDRP tukee myös mask map-tyyppisiä tekstuurikarttoja, joissa yhdistyy moni eri karttatyyppi. Tämä sisältää metallisuuden, varjostuksen, korkeuden ja karheuden. Tämä karttatyyppi vähentää manuaalista työtä, kun lisätään tekstuuritiedostoja mallin materiaalia varten.

## **2.9 Physically based rendering (fyysisesti perustuva renderöinti)**

PBR on moderni renderöintitekniikka, joka pyrkii jäljittelemään valon käyttäytymistä mahdollisimman realistisesti – perustuen todellisiin, mitattaviin materiaaliominaisuuksiin (Unity Technologies, 9.6.2023). PBR-mallissa pinnan ulkonäkö määräytyy fysiikan lakien mukaan: valo heijastuu, imeytyy tai hajoaa materiaalin ominaisuuksien perusteella. Sen sijaan, että ulkonäkö määritellään manuaalisesti, materiaalit reagoivat valoon luonnollisella ja dynaamisella tavalla.

## **2.10 Motion blur (liikkeen sumennus)**

Liikkeen sumennus on videopeleissä käytetty efekti, jolla välitetään pelaajalle nopea liike sumennuksella (Unity Technologies, 16.6.2022). Tästä efektistä on kaksi eri tyyppiä:

Kamerapohjainen liikkeen sumennus, joka sumentaa koko näytön kameran liikkeen perusteella. Tämä efekti voi olla hyödyllinen simuloimaan nopeuden tuntua, esimerkiksi autopeleissä.

Objektipohjainen liikkeen sumennus, jolla sumennetaan vain tietyt liikkuvat objektit suhteessa kameraan. Tämä on ideaali valinta nopeasti liikkuvien objektien sumennukseen, kun halutaan pitää ruudun muut alueet tarkkana ja kuva terävänä.

## 2.11 3D-mallit

3D-mallien laadulla on tärkeä rooli, kun luodaan realistisia virtuaalisia ympäristöjä. Mallien tulee olla tarpeeksi yksityiskohtaisia, jotta ne täyttävät vaaditun tason riippuen pelin tai ympäristön visuaalisesta tyylistä. Esimerkiksi peleissä, joissa 3D-mallit ovat tarkoituksella yksinkertaisia eivätkä jäljittele oikean elämän esineitä, ei polygonimäärän tarvitse olla järin suuri, kun taas kehitetään realistisempia ja jopa fotorealistisia ympäristöjä, tulee objektien täyttää tietyt tekniset vaatimukset (Adobe, 2025a; Tieteen Termipankki, 1.10.2016).

Näihin vaatimuksiin sisältyy tarpeeksi suuri polygonimäärä mikä tarkoittaa, että 3D-objektin topologia on jaettu tarpeeksi moneen polygoniin tai osaan, jotta siitä erottuu haluttu määrä yksityiskohtaa. Objektin polygonimäärä voi olla huomattavasti suurempi ja tehollisesti vaativampi ympäristössä, joka on staattinen ja lopputuloksena on pelkkä kuvankaappaus tilanteesta, tätä kutsutaan offline-renderöinniksi (Malkosh;Violette;& Evans, What is offline rendering?, 2025).

Ympäristöissä, joissa käyttäjä voi liikkua ja tutkia esineitä eri kulmista, tulee objektien olla huomattavasti konservatiivisempia resurssien kannalta, sillä objektien renderöinti reaaliajassa on vaativampaa laitteistolle (Malkosh;Violette;& Evans, What is real-time rendering?, 2025). Näin ollen 3D-mallien luontivaiheessa täytyy muistaa lisätä yksityiskohtia topologiaan vain, kun tarpeellista.

Mallin realismin edistämiseksi myös siihen luodun tekstuurin tulee olla tarpeeksi terävä ja yksityiskohtainen. Mallinnusvaiheessa on tärkeää kiinnittää huomiota objektin UV-kartan huolelliseen purkamiseen, jotta tekstuurin saumat sijoittuvat loogisiin kohtiin eikä tekstuuri veny tai vääristy missään osassa mallia (Adobe, 2025b).

## 2.12 Shaderit

Shaderit Unityssä määrittelevät, miltä niitä hyödyntävät materiaalit näyttävät (Unity Technologies, 12.7.2017b). Unity kattaa lukuisia shadereita erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten HDRP/Lit, mikä on Unity oletus-shader ja erinomainen valinta useaan tarkoitukseen, sillä tämän shaderin avulla voidaan simuloida monia erilaisia materiaaleja, esim. metallia, muovia, puuta jne. (Unity Technologies, 18.10.2023a).

Joissakin tilanteissa voidaan kuitenkin tarvita jotain tiettyä shaderia, esimerkiksi jos halutaan johonkin esineeseen liittää kangasmainen materiaali, voidaan ottaa käyttöön CottonWool tai Silk shader, mikä tarkemmin simuloi tavoitellun materiaalin ominaisuuksia (Unity Technologies, 18.10.2023b).

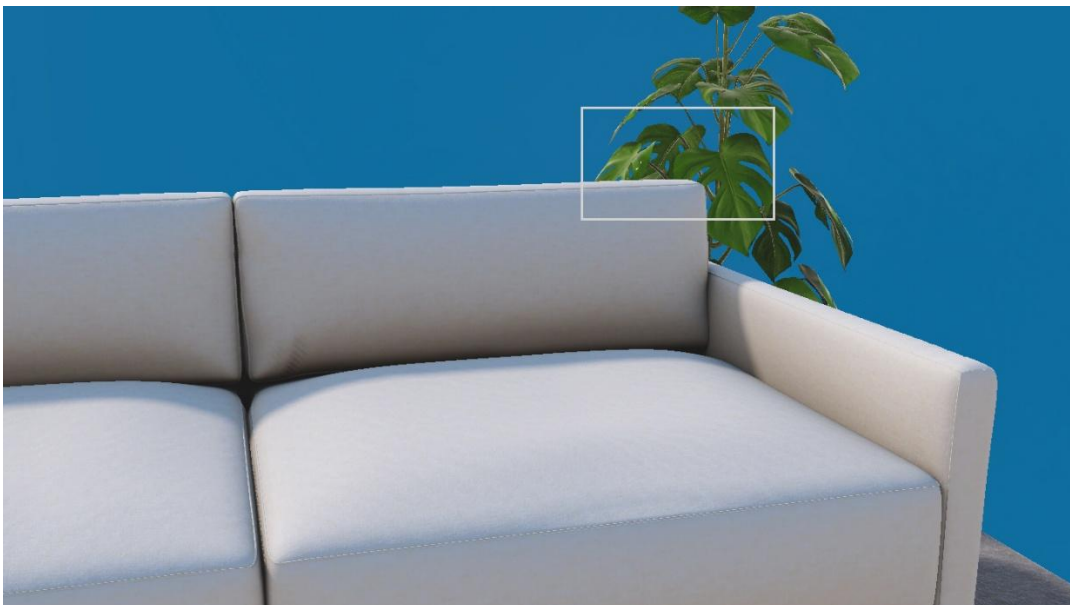
### 3 HDRP:N TEKNOLOGIAT KÄYTÄNNÖSSÄ

Tässä luvussa käydään läpi vaihe vaiheelta edellä mainittuja teknologioita käytännön esimerkeillä ja testauksella.

#### 3.1 Eri reunanpehmennysteknologiat

Kuten aiemmassa luvussa on mainittu, reunanpehmennys sananmukaisesti pehmentää 3D-ympäristön grafiikassa ilmeneviä sahalaitareunoja, näin ollen luoden miellyttävämmän näköisen kuvan käyttäjälle (Lenovo Group Limited, 2025a).

Laitteilla, joissa on käytössä NVIDIA RTX-näytönohjain, voidaan myös ottaa käyttöön muiden reunanpehmennystekniikoiden lisäksi DLSS anti-aliasing, joka hyödyntää tekoälyä reunojen pehmennykseen (NVIDIA Corporation, 2025a). Tällä tekniikalla pelejä ja sovelluksia voidaan ajaa alhaisemmalla resoluutiolla ja DLSS näyttää ne korkeamman resoluution näköisenä. Kuvan 1 skenaariossa katsotaan, kuinka jokainen reunanpehmennys-teknologia toimii käytännössä.



*KUVA 1. Alkuperäinen kuva täydellä resoluutiolla. Tutkitaan tarkemmin reunanpehmenystä suorakulmion merkkamalla alueella.*

Kuvan 2 ympäristössä näyttökuva on napattu kameran liikkuessa reunanpehmennystekniikoiden eri puolien korostamiseksi. Kollaasin ensimmäisessä kuvassa reunanpehmennys ei ole käytössä ja objektien reunojen sahalaidat erottuvat selkeämmin.



*KUVA 2. Eri tekniikoiden lopputulokset identtisissä skenaarioissa.*

FXAA-pehmennyksellä kuva on jo miellyttävämmän näköinen, mutta myös yksityiskohtaisemmat kohdat ja ohut geometria sumentuu, vähentäen kuvan tarkkuutta (Plugin Everything, 25.3.2020). SMAA-tekniikalla kuva on vielä pehmeämpi ja näin ollen menetelmä myös vaatii enemmän tehoa laitteesta (Arvi VR, 14.9.2018).

TAA-menetelmä on erinomainen vaihtoehto, jos kyseessä on vakaampi ympäristö ja äkkinäisiä liikkeitä ei tapahdu (Roach, 10.7.2024). Tässä tilanteessa näyttökuva on napattu liikkeestä ja näin ollen reunojen pehmennys ei ole yhtä

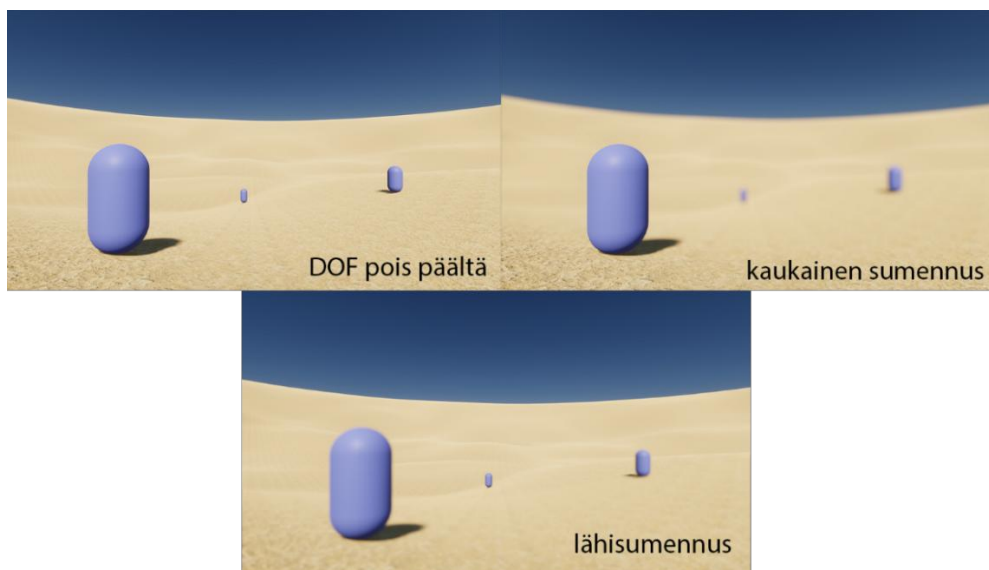
laadukas kuin muilla menetelmillä. Skenaariossa kasvin lehtien ympärillä ilmenee artefakteja ja kuva ei säily tarkkana.

DLSS-tekniikalla käytössä on tekoälyn suorittama resoluution skaalaus, mikä on tehokas vaihtoehto resurssien käytön kannalta (NVIDIA Corporation, 2025a). Reunanpehmennykseen ei ole yhtä oikeaa valintaa, vaan paras vaihtoehto riippuu 3D-ympäristön olosuhteista ja käytössä olevasta laitteistosta.

Tämän tutkimustyön ympäristö hyödyntää AMD:n FSR1-tekniikkaa kuvan pehmennykseen (Corsair, 2025). FSR1 on avoimen lähdekoodin kuvanparannustekniikka, jonka tarkoitus on parantaa pelien suorituskykyä skaalaamalla kuvaa alhaisemmasta resoluutiosta korkeampaan säilyttäen mahdollisimman hyvän kuvanlaadun.

### 3.2 Depth of field-efekti

DOF-efekti auttaa pelaajaa hahmottamaan 3D-ympäristön mittasuhteita ja voi samalla jäljitellä oikean kameran linssin toimintaa (Unity Technologies, 18.10.2023). Nykyajan peleissä tämä efekti on usein valinnainen ominaisuus, jonka voi kytkeä päälle tai pois asetuksista. Katsotaan, miltä syväterävyysalue-efekti näyttää käytännössä. Kuvan 3 esittämässä skenaariossa tarkastellaan efektin vaikutusta kolmeen objektiin, jotka on sijoitettu eri etäisyyksille kamerasta.

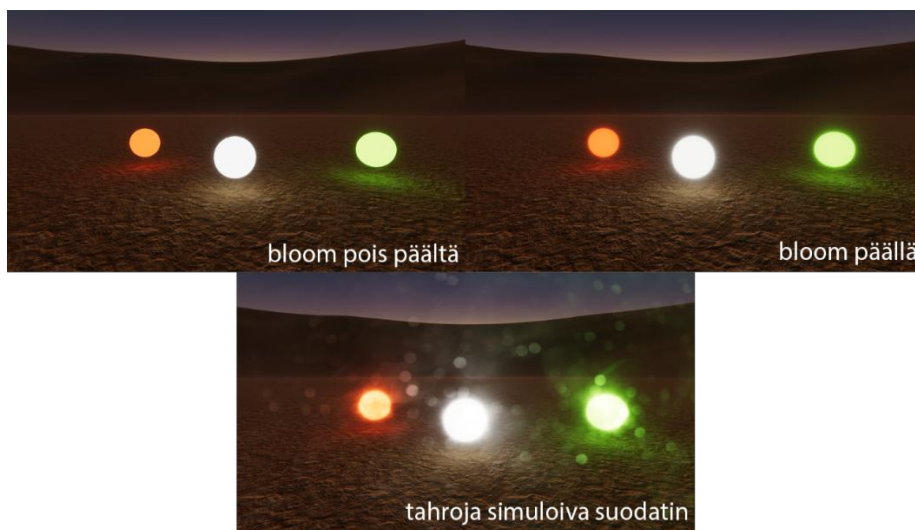


*KUVA 3. DOF-efektin vaikutus erilaisilla asetuksilla.*

Ensimmäisessä skenaariossa efekti ei ole käytössä, joten esineiden etäisyydellä ei ole merkitystä sumennuksen kannalta ja kaikki objektit ilmenevät yhtä terävinä. Toisessa kuvassa efekti on säädetty sumentamaan kamerasta kauempana olevat esineet ja ympäristön. Tällainen asetus on yleinen videopeleissä, joissa pyritään korostamaan etäisyyttä ja syvyyttä kauempana sijaitseviin kohteisiin. Kolmannessa kuvassa efektillä sumennetaan lähietäisyydellä sijaitsevat esineet. Tällä asetuksella voidaan mm. simuloida kameran linssin tarkennuspistettä. Tämä efekti voidaan kytkeä pois päältä useimmissa moderneissa peleissä, jos käyttäjä kokee sen turhaksi, tai jos halutaan säästää laitteiston resursseja.

### 3.3 Bloom-efekti

Bloom-efekti on erinomainen tunnelman luomisessa valaistuksen lisäksi 3D-ympäristöihin (Unity Technologies, 12.7.2017a). Sen avulla valonlähteiden hehkun vuodon voimakkuutta voidaan säätää ja tarvittaessa myös linssissä olevia tahroja ja likaa voidaan simuloida sijoittamalla tekstuuri efektin suodattimeen. Kuvassa 4 on havainnollistavia esimerkkejä efektistä käytännön skenaariossa.



KUVA 4. Bloom-efektin vaikutukset.

Ensimmäisessä demonstraatiossa efekti ei ole käytössä ja näin ollen valonlähteiden reunat ovat teräviä selkeästi erotettavissa. Toisessa kuvassa efekti on otettu käyttöön, jolloin valonlähteiden ääriiviat eivät enää ole selkeät, ja valo vuotaa selvästi reunojen yli.

Bloom-efektin voimakkuutta voidaan säätää pelimoottorissa halutulle tasolle oikeanlaisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Tietyissä peliympäristön olosuhteissa efekti voi olla haitallinen, mikäli tavoitteena on kirkas ja tarkka kuvanlaatu. Kolmannessa skenaariossa efektin lisäksi on lisätty suodatin, joka simuloi kameran linssissä olevia tahroja immersion kehittämiseksi. Efektin asetuksia säätämällä voidaan saavuttaa vaikuttavia tuloksia ja mukaansatempaavia ympäristöjä.

Efektin voimakkuutta voidaan säätää myös dynaamisesti koodin avulla, esimerkiksi tilanteessa, jossa pelaajahahmo on hämmentynyt lähietäisyydellä tapahtuneesta räjähdyksestä. Tällöin pelaajan tilaa voidaan simuloida tinnitusta muistuttavalla ääniefektillä ja voimakkaalla bloomilla, jolloin pelaajalle välittyy hahmon kokeman fyysisen trauman reaktio. Bloom-efektiä voidaan myös usein säätää päälle ja pois moderneissa videopeleissä.

### 3.4 Screen space ambient occlusion-efekti

SSAO-efektillä korostetaan 3D-ympäristössä olevia pieniä koloja, teräviä reunoja ja kulmia varjostuksella (GarageFarm.NET Ltd, 2025). Efekti parantaa kuvan syvyyttä ja tekee ympäristöstä realistisemmän ilman raskasta valaistuslaskentaa. Kuvan 5 skenaariossa katsotaan miten efekti vaikuttaa teräviä kulmia ja nurkkia sisältävään ympäristöön.



*KUVA 5. SSAO-efektin vaikutukset.*

Ensimmäisessä kuvassa objektiin vaikuttaa ainoastaan päävalonlähteen tuottama varjostus. Kaikki objektin geometrian nurkat ja kulmat eivät erotu selkeästi

auringon valaistuskulman vuoksi. Toisessa demonstraatiossa SSAO-efekti on aktivoitu, ja sen asetukset on säädetty erittäin voimakkaaksi efektin havainnollistamiseksi. Geometrian terävät kulmat erottuvat selvästi paremmin, eikä objekti näytä enää yhtä tasaiselta.

SSAO-efektiä käytettäessä on kuitenkin tärkeää huomioida, että voimakkaassa valaistuksessa varjostuksen ei tulisi olla liian korostunut – muuten immersio saattaa kärsiä ja skenaarion uskottavuus heikentyä. Efektin maltillisella käytöllä voidaan kuitenkin saavuttaa erinomaisia tuloksia.

### 3.5 Ray tracing -teknologian ominaisuudet

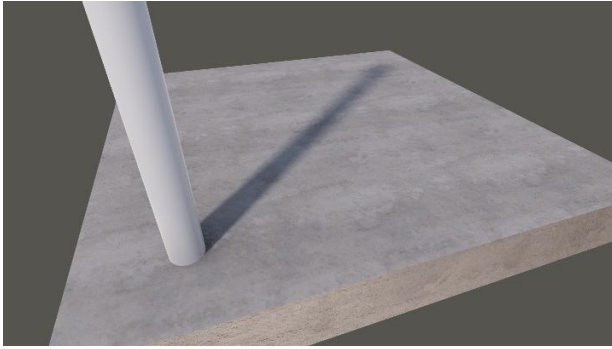
Ray tracing, eli säteenseuranta, on moderni teknologia pelikehityksessä, jolla simuloidaan valon käyttäytymistä realistisella tavalla (Knapp, 2023). Tämän teknologian käyttö vaatii NVIDIA RTX-sarjan näytönohjaimen. Alla olevilla kuvilla havainnollistetaan säteenseurantateknologian vaikuttavia ominaisuuksia virtuaalissa ympäristössä.

Kuvan 6 näkymässä on kasvi ja heijastavan pinnan omaava objekti. Ensimmäisessä kuvassa ray tracing on pois päältä, joten valon simuloinnissa ei käytetä monimutkaisempia laskentamalleja. Toisessa kuvassa ray tracing on aktivoitu, jolloin kasvin heijastus näkyy realistisesti objektin pinnassa.



*KUVA 6. Heijastukset.*

Ray tracing-teknologia tarjoaa myös realistisen varjostuksen. Kuvasta 7 nähdään, kuinka varjo lähellä pylvään alaosaa on terävämpi ja varjon reunat pehmenivät sen loppua myöten, jäljitellen oikeiden varjojen käyttäytymistä.



*KUVA 7. Varjot.*

Kuvan 8 skenaariossa vasemmassa kuvassa säteenseurantateknologian tarjoama globaali valaistus on pois päältä ja seuraavassa se on kytketty päälle. Kuten kuvasta näkyy, asetuksen ollessa päällä nähdään kuinka keltaisen objektin väri vuotaa seinän pinnalle realistisella tavalla.



*KUVA 8. Globaali valaistus.*

Kuvassa 9 tarkastellaan valon taittumista läpinäkyvän objektin läpi. Kuvassa esitetyn lasipallon avulla havainnollistetaan, miten valo käyttäytyy realistisesti tämän muotoisen objektin sisällä ja sen läpi kulkiessaan.



*KUVA 9. Taittuminen.*

Unity-pelimoottorissa läpinäkyvien materiaalien ominaisuuksia – kuten pinnan karheutta, läpinäkyvyyttä ja taitekertoimia – voidaan helposti säätää halutun visuaalisen lopputuloksen saavuttamiseksi.

### 3.6 Valokerrokset

Valokerrokset-efekti on konseptina hyvin yksinkertainen (Unity Technologies, 18.10.2023). Unitystä käsin voidaan säätää mitkä asiat ja esineet reagoivat eri valonlähteisiin. Kuvan 10 esimerkissä katsotaan miltä tämä efekti näyttää käytännössä.



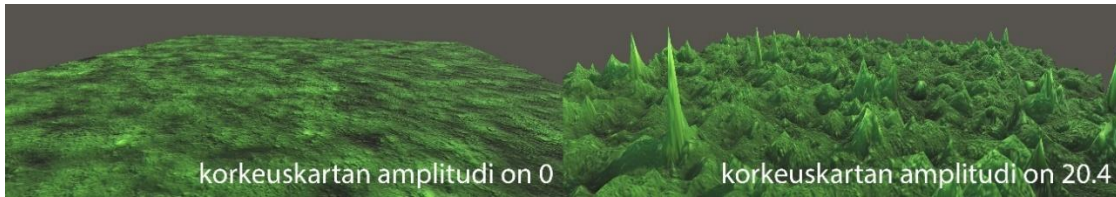
*KUVA 10. Sama skenaario kolmella eri valokerros-asetuksella.*

Vasemmanpuoleisessa kuvassa näkymässä oleva valonlähde ei reagoi mihinkään objektiin. Keskimmaisessä kuvassa valo vaikuttaa ainoastaan lattiaan. Oikeanpuoleisessa kuvassa valo reagoi jokaiseen näkymässä olevaan objektiin.

### 3.7 Tessellaatio

Tessellaation avulla 3D-geometriaan voidaan lisätä yksityiskohtaisuutta tehokkaasti ja nopeasti ilman erillistä mallinnustyötä (Be Content, 5.2.2024). Tessellaatio teknologiana on poistunut käytöstä viimeisimmissä Unityn HDRP versioissa, mutta efektiä voidaan jäljitellä height map -tekstuurikartan avulla, jolloin voidaan saavuttaa haluttu lopputulos.

Käsiteltävä kohde tarvitsee materiaalin sekä tekstuurikartan, joka pitää sisällään tiedon, kuinka paljon pinnan kutakin kohtaa tulee korostaa. Kuvassa 11 katsotaan miltä teknologian hyödyntäminen näyttää käytännössä.

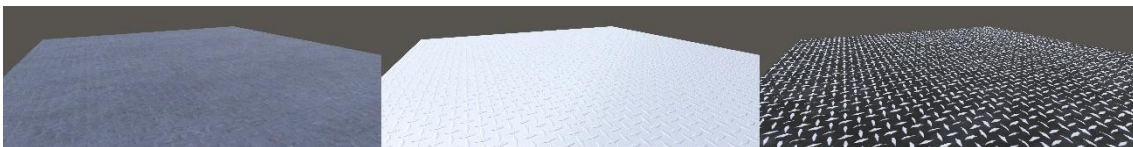


*KUVA 11. Korkeuskartan vaikutus korostettuna.*

Käsiteltävä objekti tarvitsee runsaasti polygoneja, eli 3D-objektin geometria tulee olla jaettuna tarpeeksi moneen hienojakoiseen osaan, jotta korkeuskartan amplitudia säätämällä säilytetään tarpeeksi yksityiskohtaa. Tätä teknologiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi 3D-ympäristön maaston epätasaisuuksien luomisessa, jolloin saavutetaan yksityiskohtaisempi ja realistisempi lopputulos.

### **3.8 Tekstuurikarttojen käyttö**

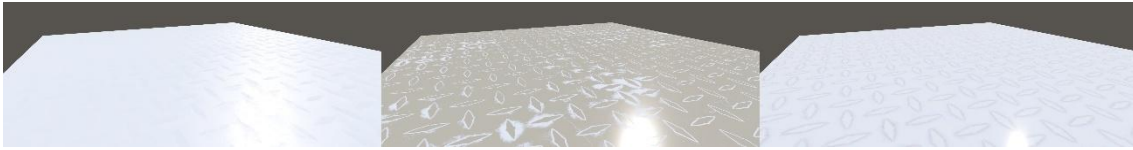
Kuten aiemmassa luvussa mainittiin, tekstuurikartat ovat kaksiulotteisia kuvia, jotka sisältävät tietoa pinnan ominaisuuksista (SEDDI Optical and Mechanical Science Teams, 21.11.2023). Ne määrittävät, miltä lopullinen materiaali näyttää ja miten valo käyttäytyy sen pinnalla. Kun tekstuurikarttoja käytetään oikein, voidaan luoda vaikuttavia ja realistisia materiaaleja 3D-objekteihin. Kuvassa 12 havainnollistavia esimerkkejä eri karttatyypeistä ja niiden vaikutuksista.



*KUVA 12. Väri-, normaali- ja korkeuskartta.*

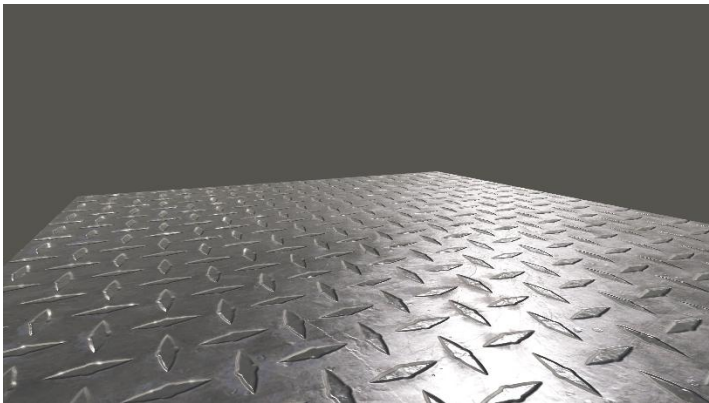
Värikartta sananmukaisesti pitää sisällään pelkästään tietoa pinnan väristä, eikä siihen vaikuta mitkään muut tekijät, kuten varjostus tai karheus. Normaalikartan avulla luodaan illuusio pinnan epätasaisuuksista vaikuttamatta objektin geometriaan. Tämä on resurssitehokas tapa lisätä yksityiskohtaa esineen pinnalle. Korkeuskartan avulla voidaan myös lisätä yksityiskohtaa esineen pinnalle. Toisin kuin normaalikartta, tämä karttatyyppi muuttaa objektin geometriaa, eikä se näin ollen säily tasaisena. Kuvassa 12 korkeuteen vaikuttavat kohdat on merkattu

valkoisella mustalle taustalle efektin korostamiseksi, normaalisti tämä kartta ei vaikuta esineen väriin millään tavalla.



*KUVA 13. Karheus-, metallisuus- ja varjostuskartta.*

Karheuskartan avulla vaikutetaan esineen pinnan sileyteen. Tämä kartta on erityisen hyödyllinen objekteissa, joiden pinta ei ole yhtä sileä jokaisesta kohdasta. Koska objekti on metallinen, halutaan siihen myös lisätä metallisuuskartta. Kuten karheuskartta, tämäkin on hyödyllinen, jos metallisuuden arvo vaihtelee objektin pinnan mukaan eikä se ole yhtä metallinen jokaisesta kohdasta. Kuvassa 13 varjostuskartta vaikuttaa lisäämällä esineen pinnalle varjostuksia niille kuuluviin kohtiin, kuten pinnan kulmien vaihteluun, lisäten yksityiskohtaisuutta objektiin.



*KUVA 14. Tekstuurikartat yhdistettynä yhteen objektiin.*

Lopputuloksena kuvan 14 kuvaamana saadaan valmis materiaali esineelle. Kaikkia karttatyyppisiä ei tarvita jokaisessa tilanteessa, vaan kutakin karttatyyppiä käytetään tarvittaessa. Karttoja ei myöskään aina tarvitse käyttää ollenkaan, sillä Unityn sisällä materiaalin asetuksissa monia ominaisuuksia voidaan säätää suoraan. Jos esimerkiksi halutaan pinnan olevan tasapuolisesti yhtä sileä joka kohdasta, voidaan arvoa säätää suoraan pelimoottorista käsin.

### 3.9 Fyysisesti perustuva renderöinti

Yhteenvedona PBR, eli fyysisesti perustuva renderöinti, kuuluu HDRP:n renderointiputkeen ja se kattaa seuraavia teknologioita (Unity Technologies, 9.6.2023):

- **Valo**  
Oikeaa elämää jäljittelevä valaistus, johon sisältyy heijastuminen, taittuminen ja esineiden värin vuoto pinnoille.
- **Varjot**  
Varjot, jotka käyttäytyvät realistisella tavalla, esim. korkean esineen luoma varjo on tyvestä tarkempi ja terävämpi, sumentuen varjon jatkuessa pidemmälle.
- **Materiaalit**  
Materiaalit, joihin voidaan liittää eri tekstuurikarttoja yksityiskohtien lisäämiseksi. Näitä materiaaleja voidaan laittaa erilaisiin esineisiin.
- **Jälkikäsitteleyefektit**  
Jälkikäsitteleyefektit, joihin kuuluu mm. bloom, ambient occlusion, motion blur, ja depth of field.
- **Volumetrinen valaistus**  
Tämä teknologia jäljittelee oikea valon käyttäytymistä tilanteissa, joissa valon siivilöitymistä sumun ja pölyn läpi simuloidaan realistisesti.

Näitä teknologioita hyödyntämällä PBR on tärkeä osa HDRP:tä, jos tarkoituksena on saavuttaa realistisia ympäristöjä. PBR:n tarjoamia efektejä ja niiden tehokkuutta voidaan säätää halutulle tasolle laitteistolla tarjolla olevien resurssien ja tehon mukaan.

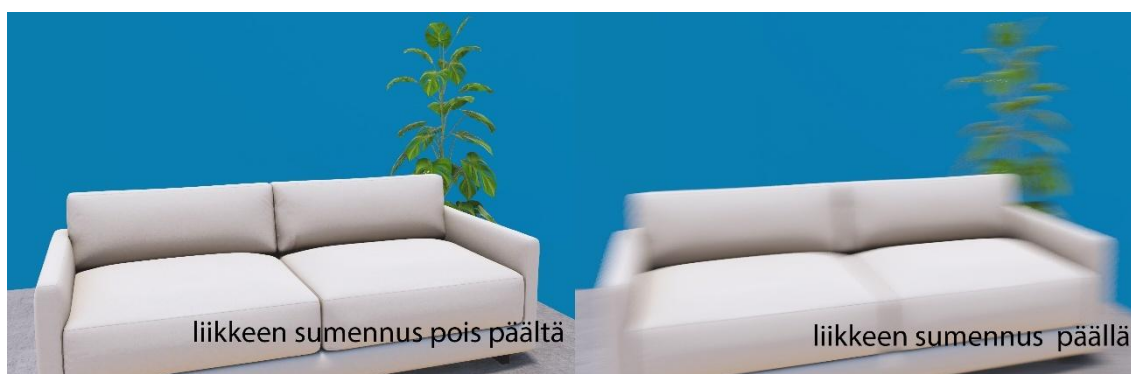
### 3.10 Liikkeen sumennus

Motion blur -efektillä eli liikkeen sumennuksella simuloidaan nopeuden tuntua sekä esineiden nopeaa liikettä 3D-ympäristössä (Unity Technologies, 16.6.2022). Tätä efektiä voidaan hyödyntää kahdella eri tavalla, joita tutkitaan käytännön esimerkeillä seuraavissa skenaarioissa.



*KUVA 15. Objektikohtainen liikkeen sumennus.*

Ensimmäisessä ympäristössä käytössä on objektiin kohdistuva liikkeen sumennus, joka sananmukaisesti sumentaa vain nopeasti liikkuvat asiat ja esineet, näin ollen vaikuttamatta kameran omaan liikkeeseen. Kuvan 15 esimerkissä kamera sekä kuvassa näkyvä pallo ovat jatkuvassa liikkeessä, mutta vain pallo ilmenee sumennettuna. Tätä sumennustekniikkaa hyödynnetään, jos tilanteessa halutaan korostaa tiettyjen esineiden liikettä säilyttäen muiden asioiden terävät yksityiskohdat.



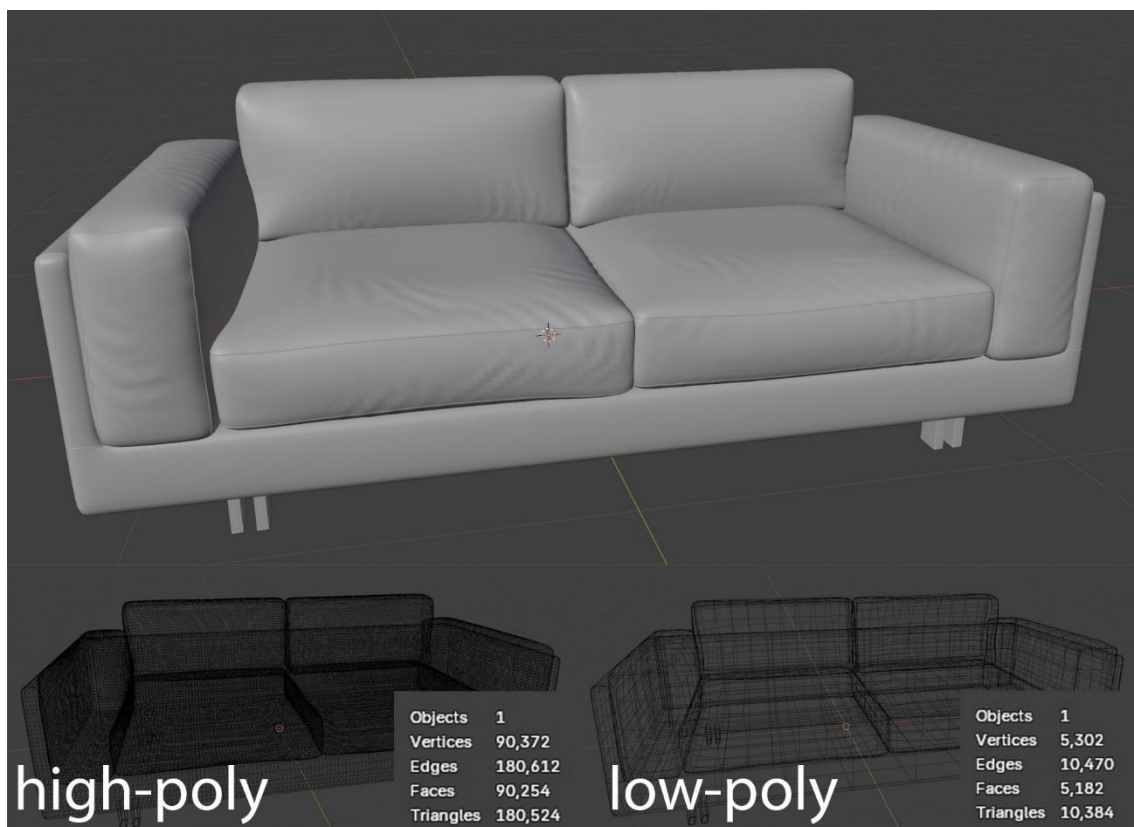
*KUVA 16. Kamerakohtainen liikkeen sumennus.*

Kuvassa 16 kamerapohjainen liikkeen sumennus on otettu käyttöön ja nyt myös kameran jatkuva liike havainnollistuu käyttäjälle koko ruudun sumentumisena. Tämä efekti luo vahvan kuvan nopeasta liikkeestä, minkä vuoksi sitä käytetään usein videopeleissä, joissa halutaan välittää nopeuden tunne pelaajalle. Joissakin tilanteissa efekti voi kuitenkin olla haitallinen käyttäjälle ja se voidaan kytkeä

pois päältä useimmissa nykyajan peleissä. Heikommilla laitteilla tätä efektiä ei suositella käytettävän, jos tavoitteena on maksimoida suorituskyky.

### 3.11 3D-mallien optimointi

3D-mallien luontivaiheessa tulee tunnistaa, tuleeko objekti offline- vai reaaliaikaiseen renderöintiin, jotta tiedetään, kuinka paljon yksityiskohtia esineeseen voidaan mallintaa (Malkosh;Violette;& Evans, What is offline rendering?, 2025; Malkosh;Violette;& Evans, What is real-time rendering?, 2025). Tässä tutkimustyössä käytetään Blender-sovellusta 3D-mallien toteutukseen. Kuvassa 17 tutkitaan mallia, josta on toteutettu kaksi erilaista versiota, ensimmäinen on polygonimäärältään korkeampi ja toinen alhaisempi.

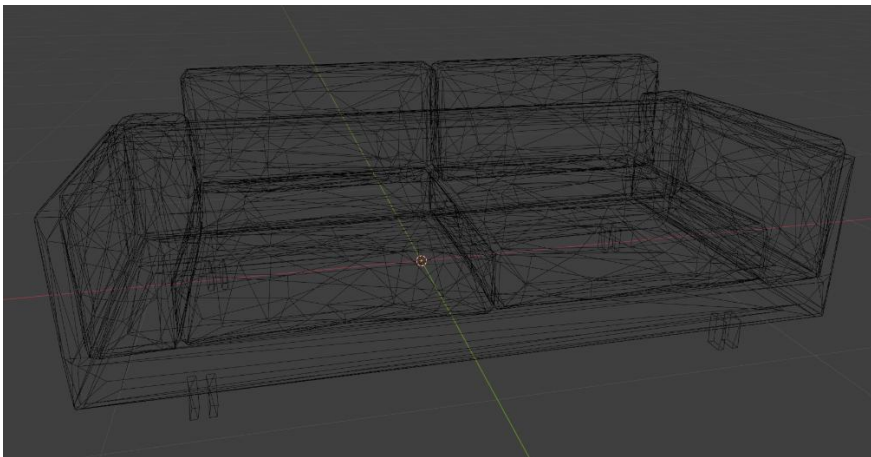


KUVA 17. 3D-malli kahdella eri polygonimäärällä.

Objekti on alun perin mallinnettu korkealla polygonimäärällä, minkä jälkeen siitä on tehty kopio alhaisemmalla polygonimäärällä manuaalisesti yksityiskohtia

vähentämällä. Tämä tarkin menetelmä mallin yksinkertaistamiseen, jos pyritään säilyttää mahdollisimman paljon tärkeitä yksityiskohtia alkuperäisestä mallista.

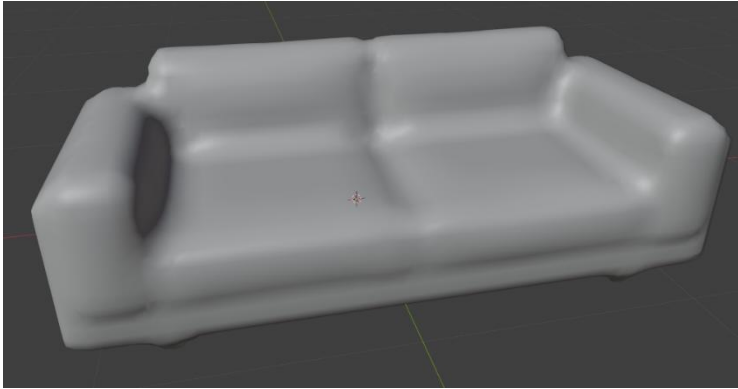
Blenderissä on myös muutamia sisäänrakennettuja työkaluja, joilla polygonimäärää voidaan vähentää napin painalluksella. Nämä menetelmät kuitenkin usein tuhoavat alkuperäisen mallin topologiaa liikaa ja näin ollen niiden käyttö on tilannekohtaista. Kuvassa 18 esimerkki Decimate -operaatiosta, jonka avulla polygoneja voidaan vähentää (Blender, 8.5.2025).



*KUVA 18. Samaan objektiin on käytetty Decimate -operaatiota.*

Kuten kuvassa 18 nähdään, Decimate -operaation jäljiltä mallin pinnan jakaumat eivät ole enää neliskanttisia, vaan kolmion muotoisia. Tämän vuoksi objektin tekstuurissa voi ilmetä vääristyksiä.

Blenderiin sisältyy myös Remesh -niminen operaatio, joka Decimaten tavoin vähentää esineen yksityiskohtia yksinkertaistamalla objektin topologiaa (Blender, 10.5.2025). Kuvassa 19 tutkinaan, miltä tätä operaatiota hyödyntävä objekti näyttää.



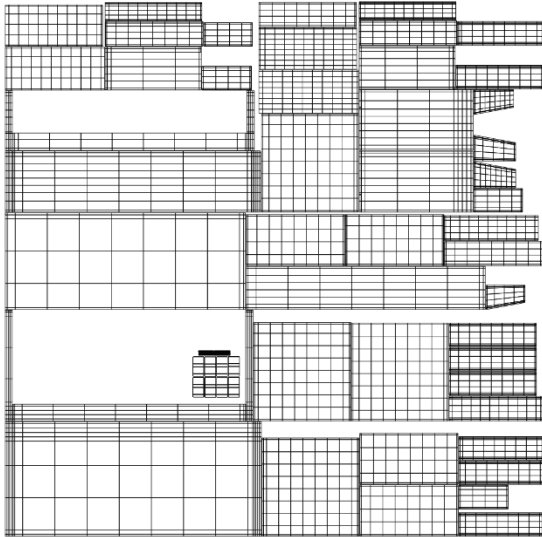
*KUVA 19. Remesh -operaatio objektissa.*

Objekti, johon on suoritettu Remesh -operaatio, on selkeästi yksinkertaisempi topologiaaltaan. Sivuvaikutuksena tässä operaatiossa kuitenkin on terävien kulmien pyöristyminen ja näin ollen objekti ei enää näytä hyvältä lähietäisyydeltä. Toisena haittavaikutuksena esineen UV-kartta häviää kokonaan ja se pitää luoda uusiksi yksinkertaistettuun malliin, aiheuttaen ylimääräistä työtä mallintajalle. Remesh -operaatio voi kuitenkin tietyissä tapauksissa parannella objektin sotkuista topologiaa jakamalla esineen pintaa järkevästi, joskin asiansa osaava mallintaja kykenee itse luomaan topologisesti järkeviä 3D-malleja.

Decimate- ja Remesh -operaatiot ovat erityisen hyödyllisiä, jos toteutetaan 3D-ympäristöön LOD-mekanismi ja halutaan nopeasti ja helposti luoda vähemmän resurssipainotteisia assetteja. (Wall, 31.1.2023). LOD-mekanismi säätää objektin polygonimäärää reaaliajassa sen etäisyyden mukaan kameraan, vähentäen tarkkuustasoa, kun objekti etääntyy. Tällä teknologialla voidaan säästää runsaasti resursseissa, etenkin jos ympäristö sisältää kymmeniä tai satoja objekteja. Esineen etääntyessä kamerasta yksityiskohtia ei ole enää helppo erottaa ja näin ollen Decimate- ja Remesh -operaatiot ovat erinomaisia valintoja LOD-mekanismiin käyttöön.

On myös olemassa erilaisia kolmannen osapuolen ohjelmia, joilla 3D-malleja voidaan yksinkertaistaa, kuten Instant Meshes, RetopoFlow ja QuadRemesher, osa näistä ohjelmista ovat kuitenkin maksullisia (SouthernGFX, 24.3.2021; CG Cookie, 6.6.2023; Blender Secrets, 23.1.2024). Näiden ohjelmien käyttö luonnollisesti lisää työnkulkuun uusia vaiheita, joita voidaan välttää suorittamalla high-poly mallin yksinkertaistaminen manuaalisesti Blenderin sisällä.

Kuvassa 20 tutkitaan tämän mallin UV-karttaa (Adobe, 2025b). Kuten kuvassa ilmenee, sohvan eri osat on heijastettu kaksiulotteiselle pinnalle. UV-karttaa purkaessa tulee kiinnittää huomiota kartassa olevien ”saarien” kokoon ja asetteluun, sillä tämä vaikuttaa lopulliseen tekstuuriin (Ryan King Art, 25.7.2022). Yleisesti ottaen neliskanttisten mallien UV-saaret kannattaa säätää täsmällisesti 90-asteen kulmiin, jotta tekstuurin vääristymiä ja vinoumia voidaan ehkäistä.



*KUVA 20. Mallin UV-kartta.*

Blender-työkalussa on lukuisia vaihtoehtoja UV-kartan automaattiseen purkamiseen, mutta parhaimman lopputuloksen saavuttamiseen kannattaa työ tehdä ainakin osittain manuaalisesti. Mallin saumoihin haluttuihin kohtiin tehdään merkin-  
nät, jolloin UV-karttaa purkaessa työkalu tietää, mitkä kohdat eriävät toisistaan. Kuvassa 21 katsotaan, millä tavalla Blender suorittaa UV-kartan purkamisen, kun mallintaja ei ole vaikuttanut sen purkuun tai oikomiseen.



*KUVA 21. Sohvan UV-kartan purkaminen Blenderin eri työkaluilla.*

Kuvan 21 ensimmäisessä skenaariossa on käytetty Angle-based-operaatiota UV-kartan purkuun, joka pyrkii säilyttämään alkuperäisten kolmioiden ja nelikulmioiden kulman mahdollisimman tarkasti (Blender, 10.5.2025). Conformal -purkuoperaatio keskittyy säilyttämään pintojen suhteelliset muodot ja mittasuhteet, mutta ei niinkään kulmia. Minimum stretch pyrkii sananmukaisesti minimoimaan UV-saarien venymistä. Blenderissä on myös näiden lisäksi Smart UV project -niminen operaattori, joka on enemmän automatisoitu menetelmä. Tätä tekniikkaa käyttäessä ei malliin tarvitse välttämättä merkitä saumoja manuaalisesti, sillä kyseinen operaatio suorittaa tämän automaattisesti. Monimutkaisiin malleihin ei ole kuitenkaan suositeltavaa käyttää tätä operaatiota, sillä laadukkaimman 3D-mallin saavuttamiseksi on järkevää itse määritellä UV-kartan saumat.

Blender tekee parhaansa UV-kartan järkevässä heijastamisessa 2D-pinnalle, kun UV-saumat on luotu objektiin loogisiin kohtiin. Joissakin tilanteissa tavoitellaan kuitenkin erittäin tarkkaa oikeiden esineiden jäljittelyä, jolloin Blenderin automaattinen UV-purku ei riitä ja tällöin on turvauduttava UV-saarien manuaaliseen oikomiseen sekä järjestelyyn.

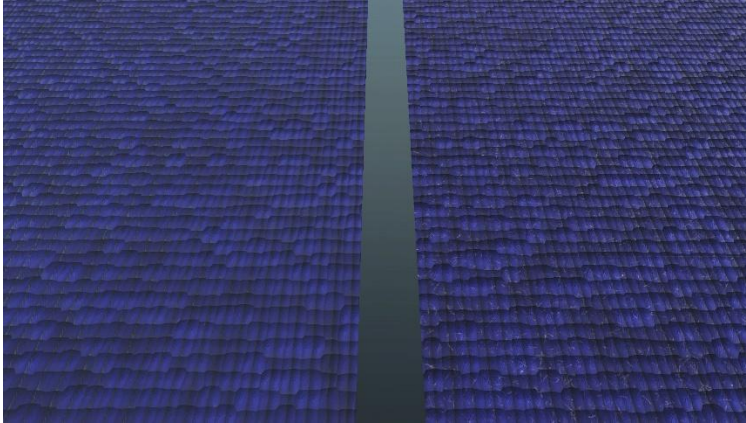
Purkamisen jälkeen tulee UV-saaret asetella ja järjestellä järkevästi. UV-kartan saarien asettelu kannattaa toteuttaa siten, että nelionmuotoisen tilan pinta-ala on mahdollisimman tehokkaasti hyödynnetty, välttämättä suuria tyhjiä kohtia, jos mahdollista. Saarien järkevä asettelu ja tilankäyttö on huomattavasti helpompaa, jos käsitellään neliskanttisia saaria. UV-saarien koko on myös järkevää jakaa keskimääräisesti, jotta tekstuurin skaala ei vaihtelee objektin eri pinnoilla.

### **3.12 Erilaiset shaderit HDRP:ssä**

Kuten aiemmassa alaluvussa mainittiin, HDRP kattaa monia erilaisia shadereita erilaisiin käyttötarkoituksiin (Unity Technologies, 12.7.2017b). Tutkitaan näiden shadereiden vaikutuksia materiaaleihin 3D-ympäristössä kuvankaappauksien avulla.

HDRP:ssä on sisäänrakennettuna kankaita jäljitteleville pinnoille oma shader; Fabric/CottonWool tai Fabric/Silk. Kuvassa 22 on kaksi objektia samalla tekstuurilla, vasemmanpuoleisessa on käytössä Lit-shader ja oikeanpuoleisessa taas

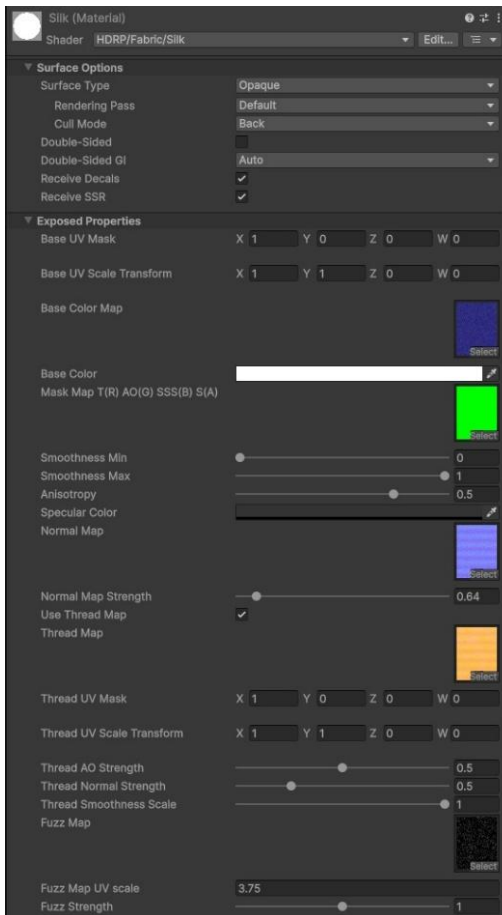
Silk. Kuten kuvan 22 avulla huomataan, oikeanpuoleinen objekti, joka hyödyntää kankaille suunnattua shaderia, sisältää enemmän syvyyttä ja yksityiskohtaa, eikä ole yhtä tasainen kuin Lit-shaderia käyttävä pinta.



*KUVA 22. Kangasmateriaali kahdella erilaisella shaderilla.*

Yksityiskohtien määrään vaikuttaa erilaiset uniikit tekstuurikartat, joita HDRP:n kangas-shaderit tukevat. Näihin sisältyy muiden yleisten karttojen, kuten värin, tasaisuuden ja karheuden lisäksi Thread map, joka sisältää dataa kangas tekstuurin tarkemmista yksityiskohdista, esim. kankaan ompeleista. Kangas-shaderin toinen uniikki tekstuurikartta on Fuzz map, joka sananmukaisesti määrittelee, miltä nukka ja nöyhtä tekstuurin pinnalla näyttää (Unity Technologies, 18.10.2023b).

Kuvassa 23 on havainnollistettu asetussikkuna kangas-shaderin materiaalille, josta voidaan hienosäätää materiaalin pinnan ulkonäköä. Eri tekstuurikarttoja yhdistelemällä sekä asetuksien arvoja vaihtelemalla voidaan saavuttaa realistisia kangasmateriaaleja, joita HDRP:n oletus Lit-shader ei kykene jäljittelemään yhtä tarkasti.



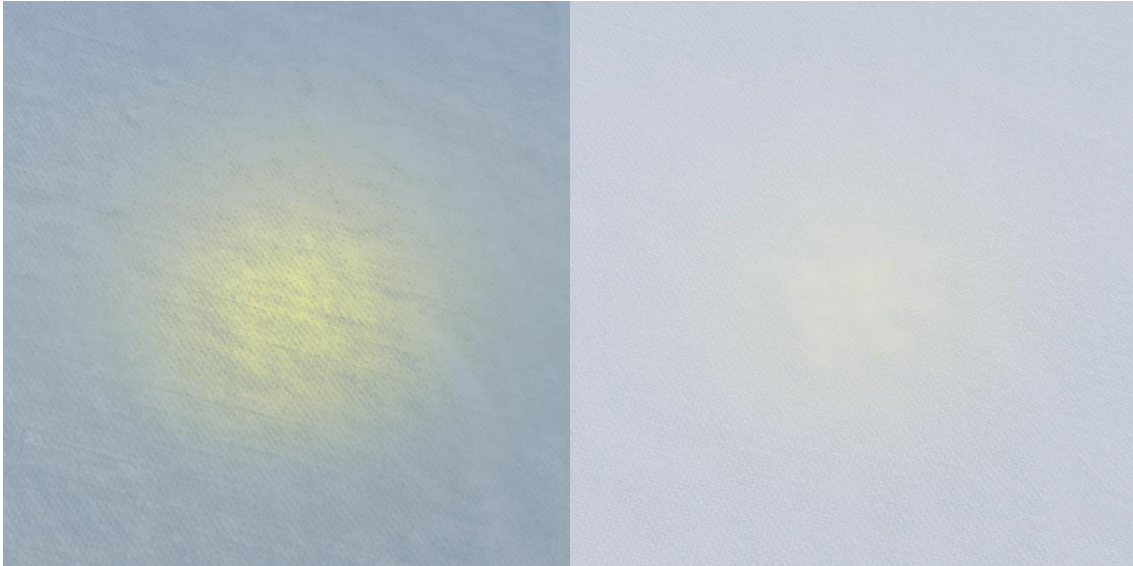
*KUVA 23. Kangas-shaderiin sisältyvät asetukset.*

Shadereita ja tekstuureita voidaan myös ladata Unityyn esimerkiksi Asset Storen kautta (Unity Technologies, 2023). Kuvassa 24 on kaksi objektoa, jotka käyttävät canvas- ja mattomateriaaleja, sekä shaderia, joka eritoten sopii simuloimaan kangasmaisia pintoja. Laadukkaammista shadereista ja tekstuureista tulee tosin useimmiten maksaa, jotta ne saa käyttöön.



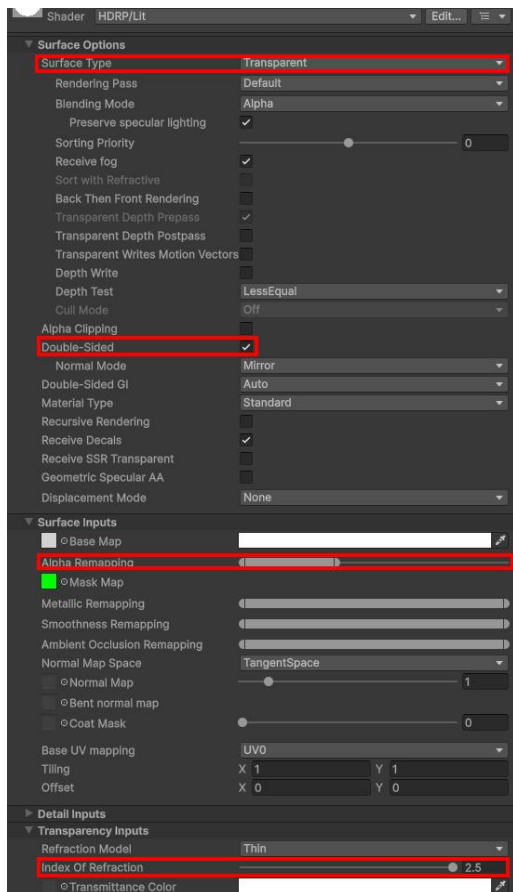
*KUVA 24. Unity Asset Storen shaderit ja tekstuurit.*

Unityssä voidaan myös tarvittaessa luoda kankaita, jotka ovat osittain läpikuultavia, esim. verhot, ohuet lakanat jne. Kuvassa 25 nähdään sama kangasmateriaali kahdella eri läpikuultavuuskertoimella. Kuten kuvasta voidaan havaita, kangasmateriaalin omaavan objektin takana sijaitseva esine kuultaa kankaan lävitse.



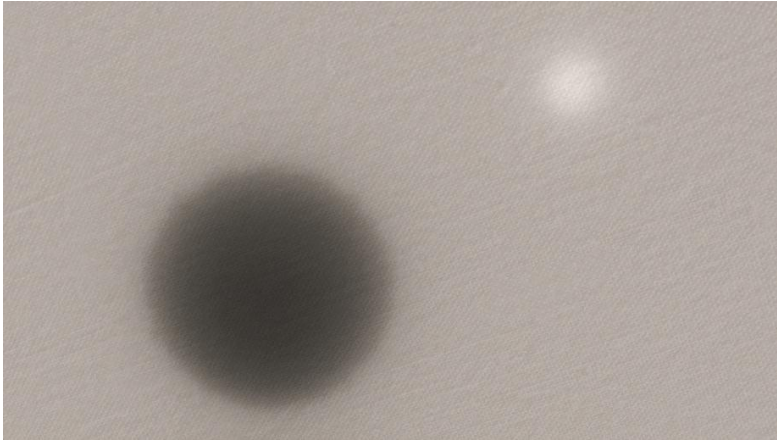
*KUVA 25. Kangasmateriaali kahdella eri läpikuultavuusasteella.*

Kuvassa 26 on tarkennettu, mitä asetuksia materiaalista säätämällä voidaan saavuttaa läpikuultava pinta materiaalille. Surface Type -asetus tulee olla Transparent ja Double Sided -valinta voidaan laittaa päälle, jos kyseessä on ohut objekti, jonka halutaan renderöityvän kummaltakin puolelta. Eritoten Alpha Remapping- sekä Index Of Refraction -valinnoilla voidaan vaikuttaa läpikuultavuuden määrään.



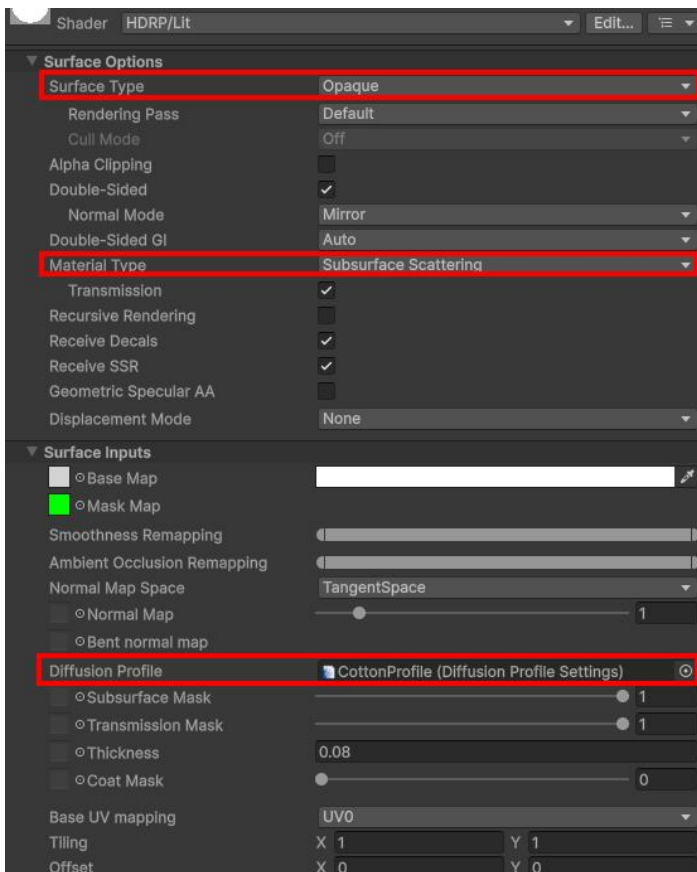
KUVA 26. Lämpikuultavuusasetukset.

Jos halutaan simuloida paksumpia kankaita, kuten kuvassa 27, joista ei näe lävitse mutta joiden läpi erottuu varjot ja valonlähteet, voidaan kokeilla erilaista lähestymistapaa materiaalin asetuksia säädettäessä. Kuvassa 27 kankaan toisella puolella olevan pallon luoma varjo sekä valonlähde erottuu toiselle puolelle kankaan lävitse ilman, että kangas on läpikuultava. Tämä menetelmä on resurssien käytön kannalta tehokkaampi verrattuna materiaalin, joka on läpikuultava.



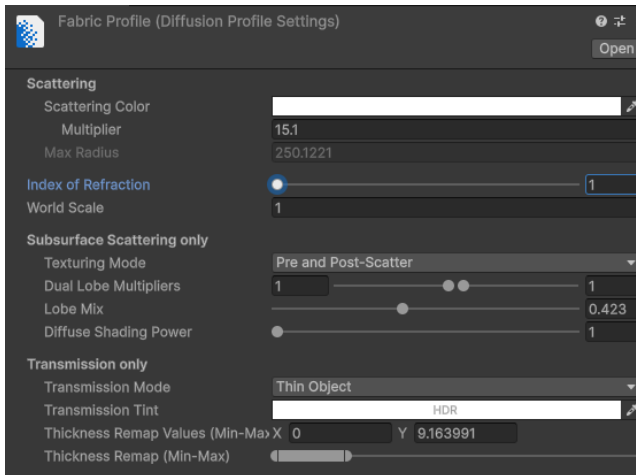
*KUVA 27. Kangasobjektin läpi erottuu varjo sekä valonlähde.*

Kuten kuvassa 28 demonstroidaan, tulee kankaan materiaali-ikkunassa Surface Type -asetus olla Opaque, Material Type on Subsurface Scattering ja Diffusion Profile -kohtaan luodaan uusi profiili.



*KUVA 28. Paksumman kankaan materiaalin asetukset.*

Kuvassa 29 näytetään tämän kangasmateriaalin käyttämä Diffusion Profile asetustiedosto. Multiplier -valinta säätelee, kuinka pehmeänä kankaalle tuleva varjo näkyy sen toiselta puolelta. Thickness Remap -asetuksella säädellään, kuinka paljon valoa ja varjoja kangas päästää lävitse. Tämän asetuskunan eri asetuksia säätämällä voidaan saavuttaa lopputulos, joka parhaiten vastaa haluttuja kankaan ominaisuuksia.



*KUVA 29. Diffusion Profile -asetusikkuna.*

Varjojen ja valon näkymistä objektin läpi voidaan hyödyntää myös esimerkiksi kasvien lehdissä, jotka omaavat ohuen pinnan. Tässä esimerkissä on käytetty HDRP/Lit shaderia, mutta tarvittaessa voidaan myös luoda oma shader, jos siihen liittyvää tietotaitoa löytyy.

## 4 TYÖPROSESSIN VAIHEET

Tässä luvussa perehdytään tutkimustyön varsinaiseen ytimeen, eli edellä mainittujen teknologioiden hyödyntämiseen 3D-ympäristössä tehokkaalla tavalla sekä 3D-mallien optimointiin ympäristöjä varten. Tavoitteena on tutkia HDRP:n tarjoamien teknologioiden vaikutusta simulaation suorituskykyyn ja optimoida resursien käyttöä. Koska HDRP:ssä on lukuisia eri teknologioita ja ominaisuuksia, käydään eri efektien optimointi läpi vaihe vaiheelta (Unity Technologies, 2024b).

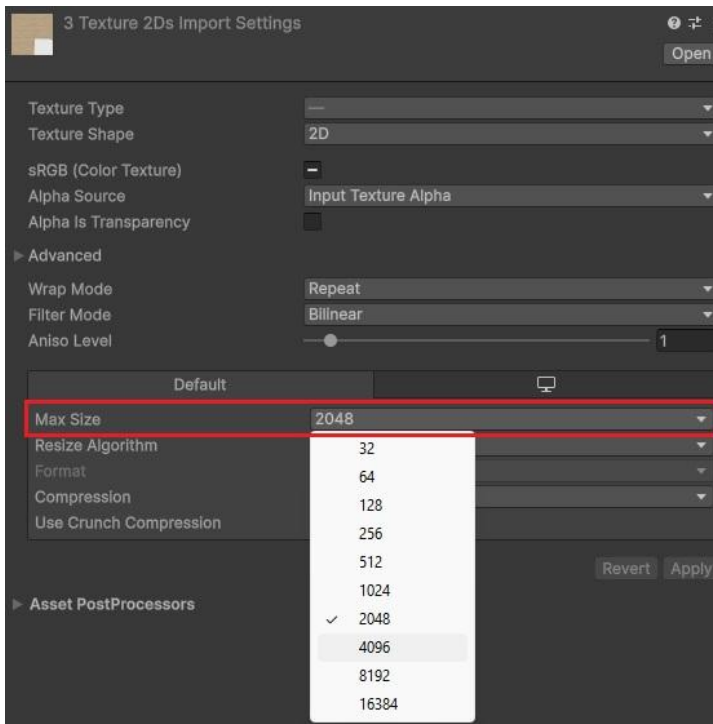
### 4.1 Assettien valmistelu ja vienti Unityyn

Koska tämä tutkimustyö painottuu 3D-ympäristön reaaliaikaiseen renderöintiin, keskitymme objektien optimointiin tähän tarkoitukseen liittyen (Malkosh;Violette;& Evans, What is real-time rendering?, 2025). Reaaliaikaisessa renderöinnissä yleisesti ottaen 3D-malleja luodessa on suositeltavaa pyrkiä maksimissaan noin viiteen tuhanteen kärkipisteeseen objektissa (O'Reilly Media, 2025).

Tietenkin jos malli ei tarvitse niin paljon yksityiskohtia yksinkertaisten muotojen vuoksi, voidaan helposti pärjätä vähemmällä kärkipistemäärällä, esimerkiksi neliskulmaisissa objekteissa, kuten yöpöydissä. Monimutkaisimmissa malleissa tämä luku saattaa ylittyä helpommin, jos mallin yksityiskohtien säilyttäminen sitä vaatii. Mitä enemmän kärkipisteitä objekti sisältää, sitä vaativampi ja kuormittavampi se on laitteistolle.

GBuilderin työnkulkuun sisältyy mallien tekstuurien luominen Adobe Substance Painter -työkalulla (Adobe Inc., 2025). Tämä työkalu kattaa suuren määrän erilaisia materiaaleja, esim. puu, metalli, muovi, kangas jne. Substance Painterissa voidaan myös hienosäätää materiaalien ominaisuuksia, kuten naarmuja, kiiltävyyttä ja karheutta. Kun malliin on säädetty materiaalit halutulle tasolle, voidaan siihen "leipoa" tekstuurikartat (Vntana, 2025). Tämä operaatio tallentaa materiaalit erilaisille tekstuurikartoille, jotka voidaan tuoda Unityn puolelle käytettäväksi.

Mallien tekstuuriin viemisessä Unityyn on syytä muistaa, että kuvatieostojen oletusresoluutio on 2048 x 2048 pikseliä. Jos mallin tekstuurit ovat luotu korkeammalla resoluutiolla, tulee asetus vaihtaa Unitystä käsin. Kuvassa 30 tämä asetus on havainnollistettu.

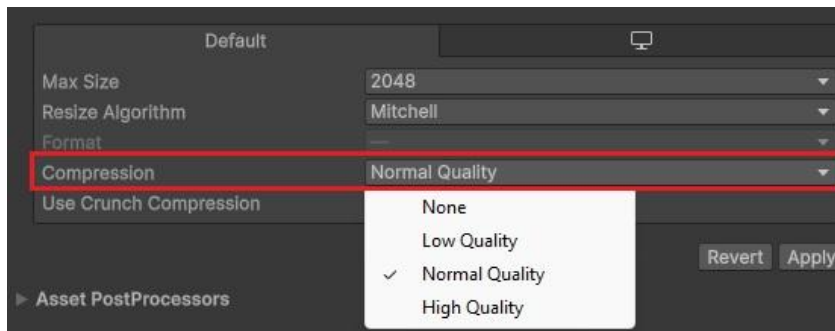


*KUVA 30. Tekstuuritiedostojen resoluutio on oletuksena 2048 x 2048 pikseliä.*

Tällä asetuksella on suuri merkitys tekstuuriin laadun ja tarkkuuden kannalta, mitä korkeampi resoluutio, sen terävämpi ja tarkempi tekstuuri. Tekstuuritiedoston resoluution koon nostaminen kuitenkin käyttää eksponentiaalisesti aina enemmän resursseja, joten oikea koko kannattaa valita testaamalla kuinka suuria kokoja käytössä oleva laitteisto jaksaa tukea (Wayline, 31.7.2023a).

Yleisesti ottaen pienempiin ja vähemmän yksityiskohtia vaativampiin malleihin voidaan käyttää pienemmän resoluutioskaalan tekstuureita, mutta normaaleissa olosuhteissa on järkevää käyttää 4096-skaalan tekstuureita, jotta objektin pinnasta erottuu tarvittava määrä yksityiskohtaa. Koska GBuilder kehittää realismia jäljitteleviä ympäristöjä ja käytettävissä on suuri määrä muistia, käytetään näissä olosuhteissa aina 4096 x 4096 resoluution tekstuureita.

Tekstuuritiedostojen resurssienkäyttöön vaikuttaa myös kuvassa 31 havainnollistettu Compression-asetus (Wayline, 31.7.2023b). Tämä määrittelee, millä tavalla kuvatiedosto käsitellään muistin käytön säätelemiseksi. Jos valittuna on None, eli ei kompressiota ollenkaan, on kuvan muistinkäyttö suurin. Low Quality on resurssien käytön kannalta tehokkain, High Quality vaativampi ja Normal Quality näiden välimaastossa.



*KUVA 31. Compression-valinta.*

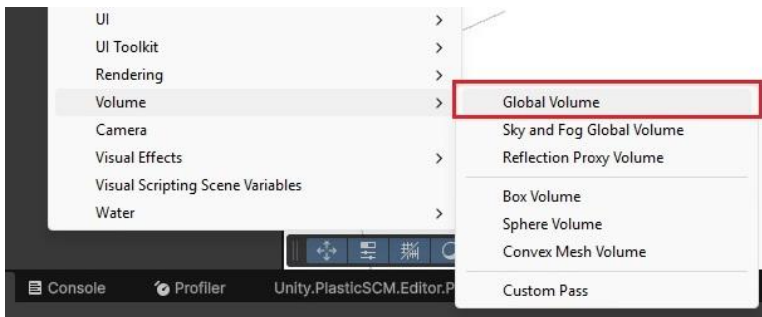
Tässä tapauksessa mallin materiaaliin on lisätty kolme tekstuurikarttaa, base map, joka sisältää tekstuurin värin, mask map, mikä sisältää metallisuuden, varjostuksen, korkeuden sekä karheuden ja normal map, joka luo illusion pinnan epätasaisuuksista (SEDDI Optical and Mechanical Science Teams, 21.11.2023). Kaikkien näiden tekstuurikarttojen koko tulee keskenään asettaa oikeaan arvoon. Kuvassa 32 havainnollistetaan tämän arvon eroa esineen tekstuuria tutkimalla.



*KUVA 32. Mallin teksturi kahdella eri resoluutiotarkkuudella.*

## 4.2 Ympäristön valmistelu

Uutta sceneä luodessa ympäristössä ei ole minkäänlaisia visuaalisia efektejä realismiin kehittämiseksi (Unity Technologies, 13.5.2025). Näiden efektien käyttöön ottamiseksi tulee luoda ympäristöön uusi Global Volume -objekti. Kuvassa 33 demonstroidaan tämän peliobjektin luontia. Tämän työkalun kautta on mahdollista lisätä haluttuja jälkikäsitteleyefektejä ympäristöön, kuten hehku (bloom), syväterävyysalue (depth of field) ja ympäristön varjostus (ambient occlusion).



KUVA 33. Global Volume -peliobjektin luonti.

Efektien resurssienkäytön havainnollistamiseksi hyödynnämme kuvan 34 kooditiedostoa, joka näyttää ruudulla tämänhetkisen FPS:n (Lenovo Group Limited, 2025b). Tämän koodin avulla voimme helposti seurata käytössä olevien efektien sekä 3D-mallien resurssien riippuvuutta reaaliajassa. Koodi päivittää FPS-arvon näytölle puolen sekunnin välein. Demonstraatioissa tavoitellaan korkeampaa FPS-arvoa.

```
5 public class Settings : MonoBehaviour
6 {
7     public TextMeshProUGUI fpsText;
8     public float updateInterval = 0.5f;
9
10    private void Start()
11    {
12        StartCoroutine(UpdateFPS());
13    }
14
15    private IEnumerator UpdateFPS()
16    {
17        while (true)
18        {
19            float fps = 1 / Time.unscaledDeltaTime;
20            fpsText.text = "FPS: " + Mathf.Ceil(fps).ToString("0");
21            yield return new WaitForSeconds(updateInterval);
22        }
23    }
24 }
25
```

KUVA 34. Kooditiedosto, jonka avulla näytetään ruudulla FPS-arvo.

### 4.3 Peliobjektit ja efektien mukautus

Seuraavaksi katsotaan, miten erilaisten efektien käyttöönotto ja 3D-objektien yksityiskohtaisuus vaikuttaa simulaation suorituskykyyn. Kuvassa 35 ympäristöön lisätyn Global Volume -työkalun asetuksia ei ole muutettu ja sceneen on sijoitettu erikseen kaksi objektia, ensimmäisessä skenaariossa televisiopöytä, joka on kärkipistemäärältään 744 ja toisessa sohva, minkä kärkipistemäärä on 238,990 (O'Reilly Media, 2025). Kuten kuvissa näkyvän FPS-laskurin avulla nähdään, monimutkaisempi sohvaobjekti vaatii luonnollisesti enemmän tehoa laitteelta.



*KUVA 35. Kaksi kärkipistemäärältään erilaista peliobjektia.*

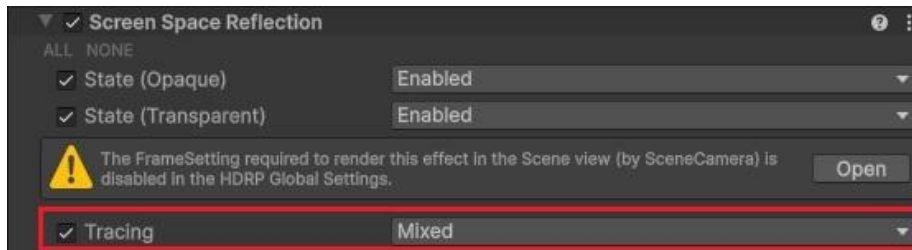
Yleisesti ottaen reaaliaikaisessa renderöinnissä ei käytetä objekteja, joissa on näin paljon kärkipisteitä, etenkin jos scenessä on monia esineitä. Tässä esimerkissä sijoitettiin kärkipistemäärältään korkea malli ympäristöön havainnollistamaan objektin yksityiskohtaisuuden vaikutusta resurssien käyttöön.

Heijastuksilla on tärkeä osa realistisia ympäristöjä luodessa. Tämä teknologia on kuitenkin teknisesti raskas ja sitä kannattaa käyttää vain, jos laitteistossa on tarpeeksi tehoja. Tässä tutkimustyössä hyödynnetty heijastusefekti on Global Volume -työkalun kautta valittu screen space reflections. Kuvassa 36 näemme, kuinka efekti vaikuttaa suorituskykyyn.



*KUVA 36. Heijastusten vaikutus FPS-arvoon.*

Heijastuksia käyttäessä on Tracing -asetus kuvan 37 mukaisesti Mixed -valinnassa. Parannus heijastusten laadussa Ray Tracing -valinnalla oli minimaalinen, joten näin ollen päädyttiin Mixed -valintaan, sillä tämä myös säästää suorituskykyä Ray Tracing -valintaan nähden.



*KUVA 37. Heijastusten asetukset.*

Seuraavassa demonstraatiossa katsotaan screen space ambient occlusion -efektin vaikutus suorituskykyyn. SSAO luo varjostuksia niille loogisiin kohtiin, eli pintojen risteymiin, nurkkiin ja koloihin. Kuvan 38 havainnollistamana nähdään miten efekti vaikuttaa simulaation resurssien käyttöön.



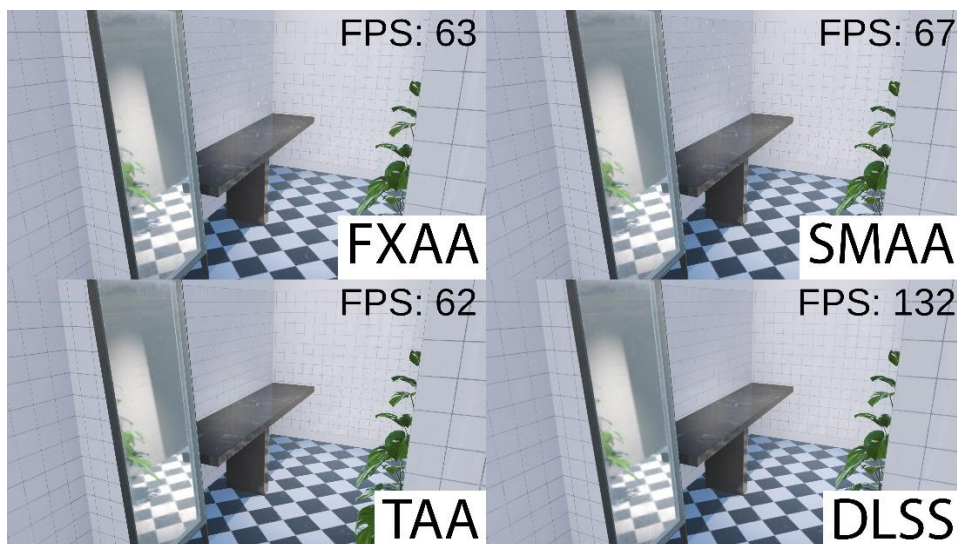
*KUVA 38. Screen space ambient occlusion -efektin vaikutus suorituskykyyn.*

Global Illumination -efektillä saavutetaan hämmästyttävän realistista valon käyttäytymisen jäljittelyä. Kyseinen efekti simuloi pintojen värien vuotamista toisille pinnoille ja lopputuloksena on miellyttävän realistinen kuva. Tämä efekti voi kuitenkin olla vaativa resurssien kannalta, kuten kuvassa 39 voimme havaita.



*KUVA 39. Global illumination -efektin vaikutukset.*

Kuten kuvasta 40 nähdään, ei käytännön testaamisessa ei ilmennyt suuria eroa suorituskyvyn kannalta eri anti-aliasing-tekniikoita kokeillessa, vaikka laadun taso kussakin AA-typissä oli säädetty korkealle tässä demonstraatiossa.



*KUVA 40. Eri reunanpehmennystekniikoiden vaikutukset suorituskykyyn.*

Ainoa varteenotettava ero ilmeni DLSS-tekniikkaa kokeillessa, sillä tämä tekniikka säästää huomattavasti enemmän resursseja tekoälypohjaisen resoluution skaalauksen ansiosta (engl. upsampling) (NVIDIA Corporation, 2025a). Reunanpehmennys tällä tekniikalla ei ole kaikista tarkin ja laadukkain, mutta jos käytössä on rajoitettu määrä tehoa ja resursseja, on DLSS silloin mainio vaihtoehto.

Koska GBuilderin käyttämässä ympäristössä on käytössä Tesla T4 tekoäly- ja laskentakiihdytin, ei DLSS-tekniikkaa voida käyttää. Näin ollen käytössä tulee olla FSR1 AA-tekniikka (NVIDIA Corporation, 2025b; Corsair, 2025).

Varjojen asetuksia säädellessä on selvää, minkälainen vaikutus niiden laadulla on suorituskykyyn nähden. Kuvan 41 testiympäristön skenaariossa kokeillaan kahta eri varjojen resoluutioskaalaa, ensimmäisessä testissä 512 ja toisessa 2048. Huonolaatuisemmilla varjoilla FPS-arvo on loogisesti suurempi, kun taas säädämme varjoja tarkemmiksi, niin ilmenee huomattava lasku FPS-arvossa.

Varjojen laatua voidaan säätää vieläkin tarkemmiksi, mutta niiden laadussa ei ilmene tästä pisteestä eteenpäin huomattavia parannuksia suhteessa resurssien käyttöön. Tämän vuoksi 2048-resoluutio on optimaalinen, kun työskennellään reaaliaikaisessa renderöinnissä.



*KUVA 41. Alhainen ja korkea resoluutioskaala sekä ray tracing -varjot.*

Testatessa varjojen eri asetuksia kokeiltiin myös ray tracing -varjojen vaikutusta suorituskykyyn. Säteenseurantateknologiaa hyödyntävät varjot käyttäytyvät realistisemmalla tavalla, eli varjojen reunat pehmenevät riippuen varjon etäisyydestä sen luomaan objektiin. Kuvassa 41 nähdään, että tätä teknologiaa hyödyntävät varjot käyttävät selvästi enemmän resursseja.

Realismin kehittämiseksi voidaan myös lisätä HDRI-taivaselementti Global Volume -työkalusta (Unity Technologies, 2024a). Kuten kuvasta 42 voimme havaita, HDRI-taivas luo pohjavalaisuksen sceneen jäljitellen taivaan valon heijastusta ympäristöön, minkä lisäksi voidaan lisätä valonlähde simuloimaan taivaalla olevan auringon valoa oikeasta suunnasta.



*KUVA 42. HDRI-taivas.*

Kuvan 43 havainnollistamana voimme katsoa tämän tutkimustyön lopputulosta, eli 3D-ympäristön reaaliaikaista renderöintiä optimaalisilla asetuksilla, mitkä on säädetty kuvan laadun ja simulaation suorituskyvyn kannalta optimaalisiksi. Asetuksia säättäessä on huomioon otettu toimeksiantajan käyttämässä 3D-ympäristössä olevat vaatimukset, kuten ray tracing -tekniikan hyödyntäminen sekä DLSS:n pois jättäminen. Kuvan 43 skenaariossa on käytössä kaikki Volume -objektin efektit, ray tracing -valaistus ja varjot resoluutiolla 2048 sekä FSR1 reunanpehmennys.



*KUVA 43. Lopulliset asetukset.*

#### **4.4 Yhteenveto**

Reaaliaikaisen renderöinnin vuoksi 3D-mallit tulee optimoida tätä varten. Mallien kärkipistemäärä on suositeltavaa olla enintään noin 5000. Yksinkertaisimmissa malleissa tämän määrän ei tarvitse kuitenkaan täytyä. Mitä enemmän kärkipisteitä objekti sisältää, sen raskaampaa se on laitteistolle. Jos luodaan erittäin yksityiskohtaisia malleja, kuten sohvia, low-poly version toteuttamisessa on järkevää vähentää mallin yksityiskohtia manuaalisesti, jotta saavutetaan paras mahdollinen lopputulos, eikä menetetä yksityiskohtia niissä kohdissa, missä niillä on suuri merkitys.

UV-kartan purkamisessa Blender tarjoaa liudan erilaisia vaihtoehtoja. Optimaalisen lopputuloksen saavuttamiseksi nokkelin kikka kuitenkin on itse merkitä saumat niille loogisiin kohtiin, minkä jälkeen valitaan tapaukseen sopivin

purkumenetelmä. Seuraavaksi UV-saaret järjestellään siten, että neliön muotoinen pinta-ala on hyödynnetty maksimaalisesti ja saaret ovat oikeassa asennossa siihen nähden, miten tekstuurin halutaan näkyvän objektin pinnalla.

Tekstuurien luomisessa säädetään Adobe Substance Painterissa materiaalit halutulle tasolle, minkä jälkeen ne voidaan leipoa resoluutiolla 4096 x 4096. Mallien tekstuurien Unityyn viemisessä tulee muistaa, että tekstuurien oletusresoluutio on 2048 x 2048 pikseliä ja tätä kokoa tulee erikseen muuttaa Unitystä käsin, jos tekstuurit on luotu eri resoluutiolla. Säädetessä resoluutiota korkeammaksi ne käyttävät enemmän muistia. Muistin käyttöön vaikuttaa myös näiden tekstuuritiedostojen kompressioaste. Korkea kompressio säästää eniten resursseja, alhainen vähemmän ja ei kompressiota ollenkaan kuluttaa kaikista eniten muistia.

Heijastukset voidaan pitää päällä, vaikka ne hieman verottavatkin suorituskykyä. Heijastuksia käyttäessä Tracing -asetus on säädetty Mixed -valinnalle. Varjojen kannalta 2048-resoluutio on hyvä valinta laadun ja suorituskyvyn puolesta.

Efektien käytössä tulee tiedostaa, kuinka paljon tehoa on käytettävissä laitteistolla. Reunanpehmennykseen käytetään FSR1 -resoluutionskaalausmenetelmää. AO-, GI- ja heijastusteknologioita voidaan käyttää ilman liian suurta kuormitusta.

## 5 POHDINTA

Tutkimustyön aikana pääsin tekemään töitä mielestäni kiinnostavan aiheen äärellä. Työn tekoa helpotti olemassa oleva kokemus ja tietämys aiheeseen liittyviin teknologioihin ja työkaluihin omien projektien pohjalta. Oman tietämyksen lisäksi opin kuitenkin uutta tähän aiheeseen liittyen, sillä kyseinen aihepiiri kattaa suuren määrän asioita.

Haastavin osuus tässä projektissa oli varsinainen tutkimustyö, eli HDRP:n asetusten optimointi optimaalista käyttökokemusta ja suorituskykyä kuvan laatuun nähden, sekä lukuisien HDRP:n ominaisuuksien testaaminen ja perusteellinen dokumentointi. Omasta, sekä toimeksiantajieni mielestä onnistuin kuitenkin saavuttamaan tavoitellun tuloksen.

## LÄHTEET

Adobe. (2025a). *What is a polygon in 3D modeling?* Noudettu osoitteesta <https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/3d-polygon-modeling.html>

Adobe. (2025b). *Understanding UV mapping.* Noudettu osoitteesta <https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/uv-mapping.html>

Adobe Inc. (2025). *Paint game-changing textures in real time.* Noudettu osoitteesta <https://www.adobe.com/products/substance3d/apps/painter.html>

Arvi VR. (14.9.2018). *The Meaning of Anti-Aliasing: FXAA, SMAA, MSAA, SSAA, TXAA Algorithms.* Noudettu osoitteesta <https://vr.arvilab.com/blog/anti-aliasing>

Autodesk, Inc. (2025). *What are game assets?* Noudettu osoitteesta <https://www.autodesk.com/solutions/game-assets>

Be Content. (5.2.2024). *Unlocking the Visual Wonders: A Dive into Tessellation in Gaming Graphics.* Noudettu osoitteesta <https://medium.com/@be.content23/unlocking-the-visual-wonders-a-dive-into-tessellation-in-gaming-graphics-8fa1396eb1b9>

Blender. (10.5.2025). *Remesh Modifier.* Noudettu osoitteesta <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/remesh.html>

Blender. (10.5.2025). *UV Operators.* Noudettu osoitteesta <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/editing/uv.html>

Blender. (8.5.2025). *Decimate Modifier.* Noudettu osoitteesta <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/decimate.html>

- Blender Secrets. (23.1.2024). *Quad Remesher add-on* | *Blender Secrets*.  
Noudettu osoitteesta [https://www.youtube.com/watch?v=gCj6dTNhO\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=gCj6dTNhO_c)
- Brookes, T. (15.7.2021). *What Are Visual Artifacts?* Noudettu osoitteesta  
<https://www.howtogeek.com/740279/what-are-visual-artifacts/>
- CG Cookie. (6.6.2023). *The Complete Guide to Retopology with RetopoFlow 3 in Blender*.  
Noudettu osoitteesta  
<https://www.youtube.com/watch?v=9OjS2rU-Jr0>
- Corsair. (2025). *A quick explanation of AMD FidelityFX Super Resolution*.  
Noudettu osoitteesta  
<https://www.corsair.com/us/en/explorer/gamer/gaming-pcs/amd-fsr-3/>
- GarageFarm.NET Ltd. (2025). *Screen Space Ambient Occlusion - All you need to know (SSAO)*. Noudettu osoitteesta <https://garagefarm.net/blog/screen-space-ambient-occlusion---all-you-need-to-know-ssao>
- Hakimi, D. (25. 1 2019). *alconlighting.com*. Noudettu osoitteesta  
<https://www.alconlighting.com/blog/lighting-design/volumetric-lighting-lighting-design/>
- Knapp, M. (2023). *What Is Ray Tracing and How Does it Work?* Noudettu osoitteesta <https://www.ign.com/articles/what-is-ray-tracing>
- Lenovo Group Limited. (2025a). *What is Anti-Aliasing?* Noudettu osoitteesta  
<https://www.lenovo.com/us/en/glossary/what-is-anti-aliasing/>
- Lenovo Group Limited. (2025b). *What is an FPS?* Noudettu osoitteesta  
<https://www.lenovo.com/us/en/glossary/fps/>
- Malkosh, Y.;Violette, A.;& Evans, R. (2025). *What is offline rendering?* Noudettu osoitteesta <https://www.vntana.com/blog/offline-vs-real-time-rendering/>
- Malkosh, Y.;Violette, A.;& Evans, R. (2025). *What is real-time rendering?* Noudettu osoitteesta <https://www.vntana.com/blog/offline-vs-real-time-rendering/>

- Merriam-Webster. (19.3.2025). *rasterization*. Noudettu osoitteesta <https://www.merriam-webster.com/dictionary/rasterization>
- NVIDIA Corporation. (2025a). *nvidia.com*. Noudettu osoitteesta <https://www.nvidia.com/fi-fi/geforce/technologies/dlss/>
- NVIDIA Corporation. (2025b). *NVIDIA T4*. Noudettu osoitteesta <https://www.nvidia.com/en-us/data-center/tesla-t4/>
- O'Reilly Media. (2025). *Working with Vertices, Edges, and Faces*. Noudettu osoitteesta <https://www.oreilly.com/library/view/learning-blender-a/9780133886283/ch06lev1sec1.html>
- Plugin Everything. (25.3.2020). *FXAA*. Noudettu osoitteesta <https://aescrpts.com/fxaa/>
- Roach, J. (10.7.2024). *What is anti-aliasing? TAA, FXAA, DLAA, and more explained*. Noudettu osoitteesta <https://www.digitaltrends.com/computing/what-is-anti-aliasing/#dt-heading-types-of-anti-aliasing>
- Ryan King Art. (25.7.2022). *UV Unwrapping for Beginners (Blender Tutorial)*. Noudettu osoitteesta [https://www.youtube.com/watch?v=qa\\_1LjeWsJg](https://www.youtube.com/watch?v=qa_1LjeWsJg)
- SEDDI Optical and Mechanical Science Teams. (21.11.2023). *3D Texture Maps Explained*. Noudettu osoitteesta <https://textura.ai/texture-maps-3d-models/>
- SouthernGFX. (24.3.2021). *Instant meshes - Free retopology solution*. Noudettu osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=ISgdREmFO7w>
- Tieteen Termipankki. (1.10.2016). *fotorealismi*. Noudettu osoitteesta <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Estetiikka:fotorealismi>
- Unity Technologies. (12.7.2017a). *Bloom*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/560/Documentation/Manual/PostProcessing-Bloom.html>

- Unity Technologies. (12.7.2017b). *Materials, Shaders & Textures*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/560/Documentation/Manual/Shaders.html>
- Unity Technologies. (13.5.2025). *Introduction to scenes*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/Manual/CreatingScenes.html>
- Unity Technologies. (16.6.2022). *Post Processing Effects: Motion Blur*. Noudettu osoitteesta <https://learn.unity.com/tutorial/post-processing-effects-motion-blur-2019-3#>
- Unity Technologies. (18.10.2023). *Depth of Field*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.postprocessing@3.0/manual/Depth-of-Field.html>
- Unity Technologies. (18.10.2023). *Light Layers*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@12.0/manual/Light-Layers.html>
- Unity Technologies. (18.10.2023a). *Lit Shader*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@12.0/manual/Lit-Shader.html>
- Unity Technologies. (18.10.2023b). *Cotton/Wool shader*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@12.0/manual/cotton-wool-shader.html>
- Unity Technologies. (2023). *Unity Asset Store*. Noudettu osoitteesta [https://assetstore.unity.com/?srsltid=AfmBOorc8m8NZo8r0UeCHCeMSIwhYJqMR\\_tGC2MZ1w4koJ-60LS6vD1Q3](https://assetstore.unity.com/?srsltid=AfmBOorc8m8NZo8r0UeCHCeMSIwhYJqMR_tGC2MZ1w4koJ-60LS6vD1Q3)
- Unity Technologies. (2024a). *Create an HDRI sky*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@16.0/manual/create-an-hdri-sky.html>
- Unity Technologies. (2024b). *High Definition Render Pipeline (HDRP)*. Noudettu osoitteesta <https://unity.com/features/srp/high-definition-render-pipeline>

Unity Technologies. (25. 4 2025). *docs.unity3d.com*. Noudettu osoitteesta <https://docs.unity3d.com/Manual/PostProcessingOverview.html>

Unity Technologies. (9.6.2023). *Creating Physically Based Materials*. Noudettu osoitteesta <https://learn.unity.com/tutorial/creating-physically-based-materials#>

Vntana. (2025). *What is “texture baking” and why is it important?* Noudettu osoitteesta <https://www.vntana.com/blog/what-is-texture-baking-and-why-is-it-important/>

Wall, S. (31.1.2023). *What is LOD (Level Of Detail) in 3D Modeling?* Noudettu osoitteesta <https://www.cgspectrum.com/blog/what-is-level-of-detail-lod-3d-modeling>

Wayline. (31.7.2023a). *Tips for Using Materials and Textures in Unity; 2. Keep Textures Size Optimized*. Noudettu osoitteesta <https://www.wayline.io/blog/tips-for-using-materials-and-textures-in-unity>

Wayline. (31.7.2023b). *Tips for Using Materials and Textures in Unity; 3. Implement Texture Compression*. Noudettu osoitteesta <https://www.wayline.io/blog/tips-for-using-materials-and-textures-in-unity>