

Jesse Kukkohovi

# Optimoidun peliympäristön luominen



Tradenomi  
Tietojenkäsittely  
Kevät 2024



KAMK • University  
of Applied Sciences

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Kukkohovi Jesse

**Työn nimi:** Optimoidun peliympäristön luominen

**Tutkintonimike:** Tradenomi (AMK), tietojenkäsittely

**Asiasanat:** peliympäristö, ympäristötaide, 3D-mallintaminen, ympäristösuunnittelu, optimointi

Opinnäytetyön aihe oli optimoidun peliympäristön luominen. Opinnäytetyön teoriaosuudessa tutkittiin ympäristön suunnittelua ja toteutusta. Siinä käsiteltiin ympäristöartistin ja -suunnittelijan eroa, erilaisia tyyliälyvalintoja, suunnittelussa käytettäviä tekniikoita, 3D-mallinnuksen työvaiheita, valaistusta ja visuaalisia efektejä. Opinnäytetyössä näiden lisäksi käsiteltiin optimointia eri laitteilla, 3D-mallinnuksessa, teksturoinnissa ja Unreal Engineissä. Aihe valittiin tekijän mielenkiinnosta ympäristötaiteeseen ja tavoitteena kehittää ammatillista kasvua sekä harjoitella teoriaosuuden aiheita käytännössä.

Teorian tieto kertyi internetin artikkeleista ja videoista, jotka tukivat aihetta. Työ rajattiin niin, että aloittelija voi ymmärtää, vaikka aikaisempaa kokemusta aiheesta ei olisi. Opinnäytetyöhön sisältyi teoriaosuuden lisäksi käytännön työ, jonka tekoprosessi dokumentoitiin. Projektissa luotiin peliympäristö, jonka tekoprosessissa haluttiin hyödyntää projektiin sopivia optimointitekniikoita.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa havaittiin, että peliympäristön suunnitteluvaiheessa tulisi samanaikaisesti suunnitella, kuinka peliympäristö optimoidaan, sillä ympäristösuunnittelussa voidaan jo vaikuttaa siihen valitsemalla optimaalinen tyyliälyvalinta sekä suunnitella tarkasti teksturointiprosessi, jolla voidaan säästää suorituskykyä ja aikaa 3D-mallien teksturoimisessa. Käytännön työssä havaittiin, että opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellyt aiheita voitiin käyttää käytännössä. Käytännön työn lopputuloksesta tuli hyvälaatuinen ympäristö.

## **Abstract**

**Author(s):** Kukkohovi Jesse

**Title of the Publication:** The creation of an optimized game environment

**Degree Title:** Bachelor of Business Administration, Business Information Technology

**Keywords:** Game environment, environment art, 3D modeling, environment design, optimization

The subject of the thesis was the creation of an optimized game environment. The theory part of the thesis researched the designing and creating of the environment. It discussed the differences between an environmental artist and a designer, different art style choices, techniques used in designing, pipeline in 3D-modeling, lighting and visual effects. In addition to these, the thesis covered optimization with different platforms, optimization in 3D-modeling, optimization in texturing and optimization in Unreal Engine. The topic was chosen as the author's goal to improve professional growth and to practice the topics in practice. the subject was also chosen based on the author's interest in environmental art.

Theory's information was gathered from internet articles and videos that supported the topic. The subject was limited to the previously mentioned topics in a way that a beginner can understand it, even if there is no previous experience. In addition to theory, the thesis also included practical project, the process of which was documented. In the project, a game environment was created and optimization techniques suitable for the project were used in the process.

In the theory part of the thesis, it was discovered that in the planning phase of game environment, one should simultaneously plan how to optimize the game environment, because in environment design, optimality can already be influenced by choosing the optimal style choice, as well as planning the texturing process, which can save performance and time when texturing 3D-models. In the practical project, it was discovered that the topics discussed in the theory part of the thesis could be used in practice. The end result of the practical work was a high-quality environment.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Ympäristösuunnittelu ja toteutus.....	2
2.1	Artistin ja suunnittelijan erot .....	3
2.2	Tyylivalinta.....	4
2.2.1	Cel-Shaded .....	5
2.2.2	Fotorealismi .....	6
2.2.3	Tyylitelty.....	7
2.3	Referenssit ja greybox .....	8
2.4	3D-mallin työvaiheet .....	10
2.5	Valaistus ja visuaaliset efektit .....	12
3	Optimointi.....	14
3.1	Mobiili.....	14
3.2	Virtuaalitodellisuus.....	15
3.3	Konsolit.....	17
3.4	Optimointi 3D-mallinnuksessa .....	17
3.5	Optimointi teksturoimisessa .....	18
3.6	Optimointi Unreal Enginessä.....	20
4	Projekti.....	24
4.1	Projektin suunnittelu.....	24
4.2	Toteuttaminen.....	26
4.3	Optimointi .....	30
4.4	Lopputulos.....	31
5	Pohdinta .....	33
6	Yhteenvedo .....	34
7	Lähteet.....	35

## Liitteet

## Symboliluettelo

Assetti	Resurssi, jota käytetään pelien tekemiseen, esimerkiksi 3D-malli.
Beikkaus	Prosessi 3D-mallien liittyvien tietojen tallentamisesta tekstuuritiedoston.
Blender	3D-Graafikkaohjelmisto.
Bloom	Efekti, joka toistaa todellisten kameroiden artefaktia.
Frame Rate	Kuvanopeus, kuvataajuus.
Greybox	Yksinkertaistettu versio pelikentästä, mitä käytetään pelikentän testaamiseen.
Immersio	Tarkoitetaan pelaajan uppoutumista pelimaailmaan.
Jälkikäsitteleyefekti	Alkuperäisen kuvan parantaminen erilaisten filttareiden avulla.
Keyframe	Piirros tai otos, joka määrittää sujuvan siirtymän aloituksesta loppupisteeseen animaatiossa.
Normal map	Kartta, jolla voidaan säätää, kuinka valaistus on vuorovaikutuksessa 3D-mallin kanssa ilman, että 3D-mallia muokataan.
PBR	Tapa renderöidä kuvia, jossa valaistus ja pinnat vastaavat samalla tavalla kuin todellisessa maailmassa.
Polygon	Muodostuu vähintään kolmesta pisteestä ja reunasta. Ne muodostavat pinnan.
Renderöinti	Prosessi, jossa luodaan kuva 2D- tai 3D-mallista tietokoneohjelmalla.
Varjostin	Ohjelmisto, joka ohjaa tietokoneen näytönohjainta ja kontrolloi, kuinka pikselit renderöityvät ruudulla.
Substance Painter	Digitaalisen teksturoimisen ohjelmisto.
Trim sheet -tekstuuri	Teksturointitekniikka, missä on toistuvia tekstuuriosia, mitä voidaan käyttää usean eri 3D-mallin teksturoimiseen

Topologia	3D-mallien reunojen, pintojen ja kärkien jakautuma ja rakenne.
Unreal Engine	Pelimoottori.
UV Mapping	3D-mallin pinnan projisointi 2D-kuvaksi tekstuurikartoitusta varten.
UV Unwrap	Prosessi, jolla luodaan UV-kartta, jota käytetään teksturointiin projisoi- malla 3D-pinta 2D-kuvaksi.
ZBrush	Digitaalisen veistämisen ohjelmisto.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena oli peliympäristön tekeminen ja sen optimointi. Aihe valittiin, tekijän halusta oppia tekemään hienompia peliympäristöjä ja opetella optimoimaan niitä paremmin. Tekijän tavoitteena on tulevaisuudessa erikoistua ympäristöartistiksi, joten opinnäytetyön aihe tukee tekijän ammatillista kasvua.

Opinnäytetyön aiheita ovat ympäristösuunnittelu, toteutus ja optimointi. Ympäristösuunnittelussa ja toteutuksessa käsitellään ympäristösuunnittelijan ja artistin eroa, tutkitaan erilaisia tyyli- valintoja, suunnitteluvaiheen tärkeyttä, 3D-mallin työvaiheita sekä valaistusta ja visuaalisia efektejä. Optimoinnissa käsitellään optimointia eri alustoilla, optimointia 3D-mallinnuksessa, teksturoimisessa ja pelimoottori Unreal Engineissä. Aiheen rajausta valittiin siksi, että nämä aiheet olisivat hyödyllistä aloittelevan ympäristöartistin tietää.

Opinnäytetyö sisältää tekijän henkilökohtaisen projektin. Projektissa luodaan pieni peliympäristö. Tämän projektin tavoitteena on hyödyntää teoriassa opittuja tapoja käytännössä. Näitä ovat muun muassa ympäristösuunnittelu greyboxamalla, 3D-mallien teksturointi ja optimointi trim sheet -tekstuurilla, pelimoottorissa optimointityökalujen käyttöä sekä visuaalisten efektien käyttöä. Projektin ympäristö suunniteltiin ja kasattiin Unreal Engineissä. 3D-mallit ja trim sheet -tekstuurit mallinnettiin Blenderissä. Trim sheet -teksturi ja muut yksittäiset 3D-mallit teksturoitiin Substance Painterissa. Projektin lopputuloksesta tuli näyttävä lopputulos. Opinnäytetyön teoria-aiheita pystyttiin käyttämään käytännössä.

## 2 Ympäristösuunnittelu ja toteutus

Pelin ympäristösuunnittelu on videopelien kehityksen yksi tärkeimmistä osa-alueista. Ympäristösuunnittelu on prosessi, jossa kehitetään virtuaalinen ympäristö. Peliympäristön tavoitteena on saada pelaaja tutkimaan pelialuetta, olla sen kanssa vuorovaikutuksessa ja saada pelaaja uppoutumaan peliin. Peliympäristön luomiseen kuuluvat suunnittelu ja peliympäristön rakentaminen. Se on prosessi, jossa on monta eri vaihetta: pelin suunnittelu ja kirjoittaminen, konseptointi, 3D-mallit, animaatiot ja renderöinti. Isoissa studiossa jokaiselle tehtävälle on olemassa oma tiiminsä, kun taas pienessä studiossa yksi ihminen saattaa tehdä useampaa eri tehtävää. [1.] [2.]

Peliympäristöjä on olemassa monenlaisia. Se voi olla esimerkiksi luonnonmaisema, kaupunki, avaruusalue tai fantasiamaailma. Ympäristötaiteessa pyritään rakentamaan virtuaalisia maailmoja, jotka näyttävät ja tuntuvat pelaajalle todellisilta. Peliympäristön tavoitteena on saada pelaajan tuntemaan olevan kokonaan uudessa maailmassa. Ympäristösuunnittelu sisältää pelin yleisen tunnelman, tyylilajin, ajanjakson ja teeman. Tämän konseptin avulla saadaan luotua hyvä pelikenttä, joka yleensä pyörii pelattavien hahmojen tavoitteen ympärillä. [1.] [2.]

3D-ympäristön luominen alkaa konseptin tekemisellä, johon kerätään referenssejä ympäristön ilmeestä ja tunteesta. Konseptointivaiheen tavoitteena on määritellä ympäristön haluttua visuaalista tyyliä. Konseptin jälkeen siirrytään mallintamaan 3D-ympäristöä. Esimerkiksi maasto, rakennukset ja esineet muodostavat halutun peliympäristön. 3D-mallintamisen jälkeen aletaan teksturoimaan 3D-malleja, millä parannetaan 3D-mallien visuaalista ilmettä ja realismia. Ympäristön toteutuksessa valaistus on tärkeä osa peliympäristöä, koska valaistuksella voidaan vaikuttaa peliympäristön tunnelmaan, myös erilaisten efektien lisääminen auttavat peliympäristön immersiossa. Viimeiseksi peliympäristö optimoidaan. Peliympäristön optimoinnilla varmistetaan, että ympäristö toimii sulavasti eri alustoilla. Peliympäristön luomisprosessin aikana tiimin yhteistyö on tärkeää, jotta peliympäristöstä saadaan luotua uskottavan näköinen, joka vastaa artistien näkemystä. [1.]

## 2.1 Artistin ja suunnittelijan erot

Ympäristöartistin ja kenttäsuunnittelijan roolit voivat jakaa paljon samankaltaisia asioita toistensa kanssa, mikä saattaa aiheuttaa hämmennystä roolien vastuutehtävistä. Siksi on tärkeää ymmärtää ympäristöartistin ja kenttäsuunnittelijan erot. [3.]

Isoissa pelitaloissa ympäristöartisti on yleensä vastuussa peliympäristön visuaalisesta ilmeestä. Kenttäsuunnittelija luo yleensä peliympäristöstä greyboxin, mitä ympäristöartisti käyttää pohjanaan ympäristölleen. Ympäristöartistin vastuu alueet ovat hyvä ymmärrys 3D-mallinnuksesta, optimoitujen 3D-mallien luomisesta, teksturointiohjelmistoista, ympäristötaiteen elementeistä, kuten trim sheetit sekä suurten ympäristöjen kokoamisesta. Tämän lisäksi vastuualueisiin kuuluu luoda peliympäristöjä, jotka välittävät haluttua taidetyyliä, ja ottaa suunnitteluvaiheen greyboxit ja luoda sen perusteella korkealaatuiset 3D-mallit säilyttäen samalla kenttäsuunnittelun visuaalisen ilmeen. Pienissä pelistudioissa ympäristöartistin työtehtäviin voi kuulua ympäristön suunnittelu, greyboxin tekeminen ja peliympäristön lopputuloksen luominen. Artistin työtehtävät määräytyvät riippuen studion sekä pelin laajuudesta. [3.] [4.]

Kenttäsuunnittelija eli level designer on rooli, jossa keskitytään hyvän pelaajakokemukseen luomiseen peliympäristössä. Kenttäsuunnittelija testaa erilaisia pelimekaniikkoja ja pelaajakokemusta sekä luo haasteita pelaajille, jota testataan pelitason greyboxin sisällä. Kenttäsuunnittelija siirtää luomansa ympäristön greyboxin taidetiimille, jota taidetiimi kehittää eteenpäin. Kenttäsuunnittelijoilla ja taidetiimillä on usein vuorovaikutusta keskenään monessa eri vaiheessa ennen kuin pelitaso on valmis. Kenttäsuunnittelijan rooli voi vaihdella eri studioissa. Jotkut suunnittelijat voivat perehtyä koodaukseen, suunnitteluun, tarinankerrontaan ja kehitykseen. Kenttäsuunnittelija ensisijaisesti keskittyy pelitason toimivuuteen. Kenttäsuunnittelijan vastuualueisiin kuuluu pelimekaniikan yhdistäminen pelitilan kanssa, pelitason greybox-prototyyppien luominen, sääntöjen luominen ja kehittäminen sujuvamman tuotantoprosessin takaamiseksi, selkeän dokumentaation kirjoittaminen ja ylläpito sekä taisteluskenaarioiden luominen. Kenttäsuunnittelijan tehtävä on siis luoda hyvä pelaajakokemus sekä keksiä vuorovaikutusta ja erilaisia aktiviteetteja peliin. [3.]

Kun tiedetään molempien roolien vastuualueet, voidaan ymmärtää, miksi ympäristöartistin ja kenttäsuunnittelijan on tehtävä tiivistä yhteistyötä. Ympäristöartisti keskittyy ympäristön muotoon, kun taas kenttäsuunnittelija keskittyy ympäristön toimintoon. kenttäsuunnittelijat ja ympäristöartistit työskentelevät samassa tilassa ja ajattelevat samalla tavalla. Kenttäsuunnittelijat ja

ympäristöartistit ideoivat työprosessin aikana yhdessä ja tekevät tiivistä yhteistyötä ympäristön luomisessa. [3.]

## 2.2 Tyylivalinta

Hyvä pelitaide on yksi pelikehityksen tärkeimmistä puolista. Pelitaiteella on suora vaikutus siihen, kuinka pelaajat ovat vuorovaikutuksessa pelin kanssa. Oikean pelitaiteen tyyliuunnan valitseminen pelille voi auttaa peliä erottumaan kilpailijoistaan. Pelaajaa saattaa kiinnostaa enemmän tutkia pelimaailmaa, jos pelissä on kiinnostava pelitaide, joka kiinnittää pelaajan huomion. Hyvällä tyyliuunnalla voi jopa vaikuttaa siihen, että pelaaja palaa takaisin pelin ääreen. Hyvän pelitaide-tyylin valitseminen on erityisen tärkeää riippumatta mitä peliä ollaan kehittämässä. Taidettylin tulisi sopia pelin mekaniikoihin sekä pelin teemaan. Hyvällä tyyliuunnalla on vaikutusta pelin menestykseen. On odotettua, että pelissä on erinomainen grafiikka, joka auttaa pelaajaa uppoutumaan pelimaailmaan pitkäksi aikaa. [5.]

Pelikehityksen yksi haastavimmista osista on valita pelille oikeanlainen taidettyli. Taidettylin voidaan valita oman mieltymyksen mukaan, mutta on huomioitava, että pelin taidettyli sopii pelin mekaniikoihin sekä on sellainen, mikä sopii pelin kohdeyleisölle. Kun pelin taidettyliä ollaan valitsemassa, tulisi tutkia erilaisia tyyli vaihtoehtoja, jotka sopivat kyseiseen peliin. Ennen kuin päädytään tiettyyn tyyliin, voidaan kokeilla erilaisia värejä ja muotoja, jotka auttavat ainutlaatuisen pelityylin luomisessa. [6.] [5.]

Pelin tyylioppaan luominen on tärkeä osa, kun ollaan luomassa pelin visuaalista tyyliä. Tyylioppas on dokumentti, millä määritellään pelin visuaalinen ilme. Tyylioppas helpottaa taidetiimiä pitämään pelin visuaalinen tyyli yhtenäisenä pitäen samanlaisen laadun koko prosessin ajan. Tyylioppaassa tulisi olla selkeä ohjeistus pelihamojen visuaalisesta ilmeestä, ympäristöstä ja muista tärkeistä pelin elementeistä. Tyylioppaassa myös on opaste pelin väripaletista, animaatioista ja pelissä ilmenevistä teksteistä. [5.] [7.]

Ainutlaatuinen taidettyli tekee pelistä tunnistettavamman. Ainutlaatuinen taidettyli auttaa, jos pelaajan tarvitsee tunnistaa pelissä tiettyjä elementtejä nopeasti, kuten hahmoja tai muita olentoja. Ainutlaatuinen taidettyli helpottaa niiden tunnistamisessa. [5.]

### 2.2.1 Cel-Shaded

Cel-shading on tapa renderöidä 3D-malleja. Cel-shaderi saa assetit näyttämään enemmän 2D:ltä tai käsin piirretyiltä. 3D-mallin ulkoasu voidaan muuttaa tavalla, miten valo putoaa 3D-mallin poikki. Prosessissa väreistä ja varjoista tehdään tasaisempia ja perinteiset varjostukset ja liukuvärit korvataan niillä. Efekti saa 3D-mallit näyttämään karkeammalta, mikä luo vaikutelman, että se olisi tehty käsin, eikä ohjelmistolla. Animaatioissa cel-shading on yleinen tyyli, varsinkin japanilaisessa mangassa ja animessa. Cel-shading-tekniikka alettiin käyttämään ensimmäistä kertaa 1990-luvun lopulla japanilaisissa anime-elokuvissa. Tekniikan suosio kasvoi ja se levisi animaatioelokuvista videopelisiin. Tekniikan menestys johtui myös siitä, että se on kehittyvin ja kustannustehokkain 3D-renderöintityökalu. [8.] [9.]

Tekniikkaa käytetään pääsääntöisesti videopelien visuaalisena tyylinä, jossa 3D-hahmot ja ympäristö on tehty muistuttamaan enemmän perinteistä 2D-tyyliä, mikä luo erittäin tyyliä ilmeen pelille. Kuvassa 1 nähdään Legend Of Zelda: Breath Of The Wild -pelin tyylinä on käytetty cel-shading-tekniikkaa, joka luo pelille tyyliä ilmeen. Cel-shading-tekniikka on sopiva sellaisille laitteille, joissa prosessointitehoa esimerkiksi Nintendo Switchissä on reilusti vähemmän kuin uuden sukupolven konsoleissa, kuten Playstation 5:ssä. Suunnitellessa massiivista avoimen maailman peliä sellaiselle konsolille, kuin Nintendo Switchille halutaan ottaa alustasta kaikki irti ilman, että peli täyttyy bugeista ja häiriöistä. [9.] [10.] [11.]



Kuva 1. Cel-shading pelissä Legend Of Zelda: Breath Of The Wild. [12]

### 2.2.2 Fotorealismi

Fotorealismi viittaa realistiseen grafiikkaan, joka yrittää matkia todenmukaisuutta. Realismin ei välttämättä tarvitse olla olemassa todellisessa maailmassa, mutta se tulee välittää pelaajalla niin kuin se kuuluisi oikeaan maailmaan. Tämä taidetyyli vaatii monimutkaisten 3D-mallien, valaistuksen, varjostimien ja korkearesoluutioisten tekstuureiden käyttöä. Fotorealistinen taidetyyli vanhenee huomattavasti verrattuna tyyliin, jota käytettiin aiemmin, koska tekniset laadut muuttuvat kun, laitteiston teknologia kehittyy. Kuvassa 2 esimerkkinä Uncharted-pelisarja. Pelisarjan ensimmäinen osa julkaistiin 2007 ja viimeisin osa julkaistiin 2017 kymmenen vuotta ensimmäisen osan julkaisusta. Kuvasta nähdään kuinka, fotorealistinen tyyli on kehittynyt eteenpäin. Uudempien tekniikoiden vuoksi hahmon 3D-mallin ulkonäköön on pesty lisäämään paljon enemmän yksityiskohtia verrattuna vanhempaan hahmon 3D-malliin. PBR on tekniikka, joka on tullut vuosien aikana tärkeäksi realistisen pelitaiteen luomisessa. PBR tulee sanoista physically based rendering. Se on varjostus ja renderöinti tapa, minkä avulla saadaan 3D-mallien tekstuurit näyttämään realistisimmilta. [13.] [14.] [15.] [16.]



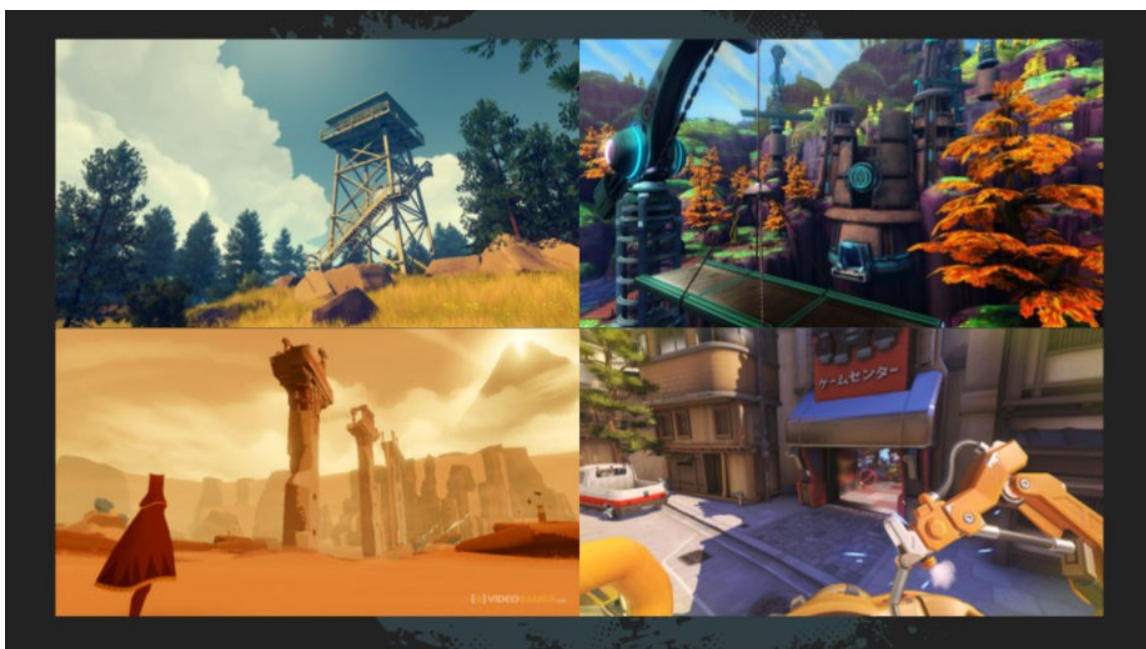
Kuva 2. Esimerkki Uncharted-pelisarjan päähahmo saa lisää yksityiskohtia vuosi vuodelta, kun resurssit ovat parantuneet. [13]

Fotorealismi on vaikein ja vaativin pelitaidetyyli. Se vaatii, että taitava artisti saa tekstuurit, 3D-mallit ja skaalat oikein sekä vaatii monia muita taitoja, jotta pelin realismi saadaan näyttämään oikealta. Fotorealismi vaatii myös paljon tuotantoaikaa, sillä 3D-mallit tarvitsevat yleensä korkean polygon-määrän verrattuna muihin pelitaidetyyleihin. Fotorealismi vaatii myös tehokkaan laitteiston valmiin tuotteen renderöimiseen. Fotorealismia käytetään pelin taidetyylinä, koska sillä

halutaan luoda elokuvamainen kokemus tai sillä halutaan hyödyntää realistista elämäntapaa, johon keskiverto ihminen ei pysty. [17.]

### 2.2.3 Tyylitelty

Tyyliteltyssä taidetyylissä pyritään yleensä esittämään peliohjelmaa vähällä yksityiskohtien määrällä. Tämä tarkoittaa, että tyyliteltyssä taidetyylissä yksinkertaistetaan muotoa, viivaa, värejä ja pinnan yksityiskohtia. Tyyliteltyä taidetyyliä käytetään, kun pelin visuaalisesta tyylistä halutaan saada sarjakuvamainen. Koska tyylitelty taidetyyli on todella monipuolien sen luomiselle ei ole olemassa yhtä ohjetta. [18.] Kuvassa 3 nähdään erilaisia esimerkkejä tyylitellyistä taidetyyleistä eri peleissä.



Kuva 3. Esimerkki tyylitellystä taiteesta. [13]

Tyylitelty pelitaide on muuttunut teknologian kehittyessä. Ennen sitä käytettiin vain matalaresoluutioisissa 3D-malleissa, joissa käytettiin pelkkiä värikarttoja. Teknologian kehittymisen takia tyyliteltyä taidetyyliä voidaan hyödyntää korkearesoluutioisilla 3D-malleilla sekä voidaan hyödyntää erilaisia varjostimia ja materiaaleja. Tyyliteltyssä voidaan vapaasti liioitella muodoilla ja väreillä haluamalla tavalla. Tyyliteltyssä voidaan myös vapaasti lisätä, poistaa ja liioitella haluttuja yksityiskohtia. [13.]

Etuja tällä taidetyylillä on, että pelit, jotka käyttävät tyyliteltyä taidetyyliä vanhenevat hitaammin verrattuna fotorealismiin. Tyylitelty taidetyyli ei myös vaadi paljoa suorituskykyä ja pyörii helpommin vanhallakin teknologialla. Tyylin haasteena on kuitenkin välittää pelaajalle, miltä 3D-mallien tulisi ympäristössä näyttää pienemmillä yksityiskohdilla. Tyylitelty pelitaide ei myöskään ole niin suosittua verrattuna fotorealismiin. [14.] [19.] [13.]

Tyylitellyn taiteen luomiselle ei ole tarkkoja ohjeita, mutta tyyliteltyjä taidetyylejä on monia erilaisia. Esimerkiksi joissain peleissä keskitytään enemmän suurempiin yksityiskohtiin ja muotoihin toisin kuin pienempiin yksityiskohtiin. Niissä myös saatetaan liioitella 3D-mallejen muodoilla ja animaatioilla. Toiset pelit taas saattavat keskittyä minimalistisuuteen, joka on paljon yksinkertaisempaa. Niissä 3D-mallit ovat todella yksinkertaisia, koska niistä on monesti poistettu suurin osa yksityiskohdista. Monesti ne myös käyttävät pelkkiä värikarttoja. [13.] [14.]

### 2.3 Referenssit ja greybox

Referenssit ovat visuaalinen esimerkki, joka käyttää monia eri lähteitä. Konseptitaide on visuaalinen esitys, joka määrittää vision ja videopelin ulkoasun. Yleensä konseptiartistit luovat ensisijaiset referenssit taidetiimille. Ennen kuin aikoo aloittaa ympäristön luomisen, on tehokkaampaa kerätä referenssejä malleista, joita halutaan tehdä. Jos aiotaan mallintaa peliobjektia, kannattaa etsiä siitä kuvia eri kuvakulmista, jotta saadaan luotua luonnollisen näköinen malli. Moodboardin luominen on yleinen käytäntö, kun suunnitellaan peliympäristöä. Moodboardiin laitetaan referenssikuvia, joiden avulla halutaan uppoutua ympäristöön. Moodboardiin yleensä laitetaan kuvia tärkeimmistä elementeistä, joita halutaan peliympäristöön luoda. Moodboardiin voidaan myös lisätä kuvia valaistuksesta, joka halutaan saada ympäristön lopputulokseen sekä väripaletti väreistä, joita ympäristössä halutaan käytettävän. [20.] [21.] [22.]

Kun 3D-ympäristöä tehdään, on työn prosessin aikana tärkeä seurata referenssejä, jotta ympäristö vastaa referensseihin. Tyypilliset internet-sivut, joista voidaan löytää referenssikuvia ovat Googlen kuvahaku, Pinterest ja Artstation. [22.]

Greyboxing on prosessi, jossa luodaan nopeasti yksinkertainen prototyyppi peliympäristöstä yksinkertaisista muodoista. Greyboxin tarkoituksena on testauttaa pelin ominaisuuksia itse pelikentän sisällä. Se toimii pohjana, jonka perusteella lopullinen peliympäristön visuaalinen ilme luodaan. [23.] [24.]

Greyboxin avulla pelikenttään voidaan tarvittaessa tehdä nopeita muutoksia helposti sen yksinkertaisten muotojen ansiosta. Greybox toimii suunnitelmana pelikentästä, jota artistit voivat käyttää referenssinä, kun aletaan tekemään monimutkaisempia 3D-malleja pelikentälle. Greybox vaiheessa on myös hyödyllistä ja kannattavaa tehdä paljon pelitestausta. Siinä voidaan testata, pystyykö pelaaja hyppäämään tarpeeksi pitkälle, ovatko pelikentän huoneet liian sekavia sekä ovatko käytävät tarpeeksi leveitä ajoneuvoille. Testaamisessa nähdään, onko ympäristön skaalat sopivat ja ymmärtääkö pelaaja mihin täytyy mennä. [23.] [24.] [25.]

Greyboxing on tärkeä osa tuotantoa, jolla luodaan perusta peliympäristölle. Se on kriittinen prosessi peliympäristön onnistumisen kannalta. Jos peliympäristölle ei ole minkäänlaista perustaa ympäristöstä, siitä voi tulla ongelma ja olla haitaksi tuotannon aikana. Jos Greyboxia ei ole, se hidastaa työntekoa, sillä voi tulla tilanteita, kun ei tiedä, mitä työstää seuraavaksi ja mihin käyttää aikaa ja energiaa. Nämä hidastavat tuotantoa. [26.]

Greyboxissa on tärkeää luoda ensimmäiseksi isoimmat muodot, esimerkiksi talot ja seinät, minkä jälkeen voidaan luoda muutamia yksityiskohtia, kuten lyhtyjä, ruukkuja ja kiviä. Yksityiskohtat eivät ole greyboxin tärkein osa, joten niihin ei kannata käyttää liikaa aikaa. Kun tarvittavat objektit on tehty, niistä voidaan alkaa suunnittelemaan pelattavaa aluetta. Kun greybox on valmis, saadaan parempi kuva, mitä esineitä kenttään tarvitsee luoda ja millaisia yksityiskohtia sinne halutaan lisätä. Kuvassa 4 ylempänä nähdään greyboxattu kenttä ja sen alla nähdään versio kentästä, jonne on lisätty yksityiskohtaiset 3D-mallit. Kuvia vertailemalla nähdään, kuinka lopullinen versio kentästä käyttää greyboxattua kenttää pohjana. [26.] [24.]



Kuva 4. Yllä greyboxattu kenttä. Alla lopullinen kenttä käyttäen lopullisia 3D-malleja. [24]

#### 2.4 3D-mallin työvaiheet

3D-mallin pipeline on sarja vaiheita, joita seurataan, jotta assetit ja koodi saadaan toimimaan yhdessä pelissä. Useimmat ominaisuudet ovat riippuvaisia taiteesta, tekniikasta ja suunnittelusta. Jokainen näistä toimii erilaisilla työkaluilla ja tiedostomuodoilla. Pipeline eli työvaiheet on perustettava, jotta kaikki ominaisuudet sopisivat yhteen. Kaikki työkalut, assetit ja tuotantotarpeet täytyy sisältyä prosessiin. Pelitaitteen työprosessi sisältää useita vaiheita, joita artistit ja pelinkehittäjät seuraavat luodakseen ja yhdistääkseen assetit peliin. Prosessi voi vaihdella projektista ja tiimistä riippuen, mutta tyypillisin prosessi menee seuraavasti: konseptitaide, 3D-mallinnus, teksturointi, riggaus, animaatio, valaistus ja renderöinti. [27, s. 192.] [28.]

Konseptitaitteen vaiheessa luodaan visuaalisia konsepteja ja suunnitelmia hahmoille, ympäristölle, rekvisiitalle ja muille pelielementeille. Konseptitaiteilijat käyttävät luonnoksia, piirroksia ja digitaalisia maalaustekniikoita luodakseen pelin yleisilmeen ja tuntuman. Konseptitaitteessa piirretään malli eri näkökulmista, joissa tulisi esittää tärkeimmät yksityiskohdat. [28.] [29.]

3D-mallin mallinnusvaiheessa artistit käyttävät 3D-mallinnusohjelmistoja luodakseen 3D-malleja hahmoista, esineistä ja ympäristöstä. 3D-mallin muoto, rakenne ja yksityiskohdat perustuvat konseptitaide vaiheessa luotuihin konsepteihin. 3D-mallinnusvaiheen jälkeen 3D-malli teksturoidaan. Teksturoimiseen kuuluu pintayksityiskohtien, värien ja tekstuurien lisääminen. Artistit käyttävät teksturoimiseen ominaisia ohjelmistoja luodakseen korkearesoluutioisia tekstuureja. Tekstuurit tekevät 3D-malleista visuaalisesti houkuttelevia ja realistisia. [28.]

Riggaus on prosessi, jossa luodaan luuranko hahmolle tai objektille. Animaattorit voivat manipuloida ja animoida 3D-mallia luurangon nivelistä ja luista. Riggaus on tyypillisesti tarpeellinen orgaanisille objekteille, kun taas ei-orgaanisille 3D-malleille riggaus ei ole tarpeellista. Ei orgaaniset 3D-mallit ovat muun muassa pöydät ja tuolit. Animointi vaiheessa animaattorit tuovat hahmot ja objektit eloon liikkeellä ja toiminnalla. Keyframeilla ja liikkeen kaappaustekniikoilla pystytään luomaan realistista käyttäytymistä. [28.]

Valaistus artistit työskentelevät peliympäristön valaistusolosuhteiden luomisessa. He luovat realistisia tai tyyliteltyjä valaistusasetuksia parantaakseen pelin tunnelmaa ja visuaalista vaikutusta. Valaistus vaikuttaa 3D-malliin, animaatioon ja tekstuuriin, siksi se on prosessi, joka tehdään vasta näiden jälkeen. [28.] [29.]

Renderöinti on viimeinen vaihe, jossa 3D-malli, valaistus ja muut efektit ovat yhdistetty luodakseen lopullisen kuvan tai framen videopeliin. Tämä prosessi myös sisältää renderöintiprosessin visuaalisen laadun ja suorituskyvyn optimoinnin. [28.]

Jokainen vaihe pelitaiteen prosessissa vaatii tiivistä yhteistyötä artistien, suunnittelijoiden ja ohjelmoijien välillä, jolla varmistetaan resurssien sujuvan kulun ja, että pelin visuaalinen tyyli pysyy samanlaisena. Prosessi mahdollistaa tehokkaan peli assetin luomisen ja integroimisen, jolloin kehitystiimi pystyy toimittamaan korkealaatuista visuaalista kuvaa, joka parantaa pelaajan pelikokemusta. Tiimin kannattaa suunnitella pipeline etukäteen, koska pipelinet voivat kasvaa monimutkaisiksi. Etukäteen suunnitteleamalla varmistetaan, että riskejä olisi mahdollisimman vähän. Pipelinen prosessi kasvaa mitä enemmän sisältöä menee sen läpi. Tämän takia prosessia ja pipelinea on voitava skaalata ja tiivistää tarpeen mukaan. [28.] [27, s. 192.]

## 2.5 Valaistus ja visuaaliset efektit

Valaistus on tärkeä osa pelitaidetta ja ympäristöjen luomisprosessia. Siksi valaistusta tulisi tutkia tarkemmin peliympäristöä luodessa. Valaistuksella voidaan joko parantaa tai pilata peliympäristön. Koska peliympäristön tekemiseen käytetään paljon aikaa, tulisi myös sen valaistukseen kiinnittää huomiota, sillä huonolla valaistuksella ei pystytä esittämään ympäristöä ja sen yksityiskoh- tia tarpeeksi hyvin. Valaistuksella voidaan myös häiritä pelaajan katsetta niin, että peliympäristö näyttää yksityiskohtaisemmalta mitä se oikeasti olisi. Valaistus tulisi pitää yksinkertaisena, jotta se pysyy puhtaana ja välttää sotkuisuudelta. [30.]

Pelinkehityksessä valaistusta käytetään pelin tunnelman luomiseen. Sillä voidaan saavuttaa pelin haluttu tunne, jota pelin kehittäjät haluavat pelaajille välittää. Valaistuksella voidaan vaikuttaa pelin mekaniikkoihin. Esimerkiksi pimeydellä voidaan lisätä peliin jännittävyden tunnetta. Pelin tunnelmaan voidaan valaistuksen avulla vaikuttaa ilman, että peliobjektia tarvitsee muuttaa. Valaistuksella voidaan helposti vaihtaa yö päivään tai aurinkoinen sateeksi. [31.] [30.]

Valaistus on osa pelitaidetta, johon muun muassa kuuluu valaistuksen jälkikäsitteily, kuten väri- luokittelu, bloom, linssin heijastukset ja valoasetukset. Oikeanlaisella valaistuksella voidaan vakuuttaa pelaaja, että hän on erilaisissa ympäristöissä erilaisissa tilanteissa. Esimerkiksi pimeällä valaistuksella voidaan vakuuttaa pelaaja, että hän on sillä hetkellä pimeässä yöympäristössä. [30.]

Visuaaliset efektit ovat efektejä, jotka tuovat pelimaailman henkiin. Visuaalisia efektejä ovat esi- merkiksi vesi, savu ja pöly. Visuaaliset efektit ovat tärkeä osa pelimaailmaa, vaikka niihin ei kiin- nitetä aina huomiota. Peliympäristön visuaaliset efektit auttavat pelaajan immersiota pelimaail- maan. Visuaaliset efektit auttavat pelimaailmaa tuntumaan enemmän elävältä ja realistiselta. Se myös auttaa asettamaan pelin tunnelman. Jos visuaaliset efektit eivät ole hyvin tehtyjä, ne voivat pilata pelaajan kokemuksen. Hyvin tehdyt visuaaliset efektit parantavat pelaajan kokemusta ja tekevät pelistä nautinnollisemman. [32.] [33.]

Visuaalisten efektien prosessi alkaa pelisuunniteliasta, joka luo konseptin pelimaailmasta. Visu- aalisten efektien artisti luo efektit konseptien perusteella. Kun visuaaliset efektit on luotu, artisti työskentelee muiden tiimin jäsenien kanssa varmistaakseen, että efektit sopivat hyvin peliympä- ristöön. Valaistustiimi ja efektiartistit tekevät yhteistyötä, jotta efektit ovat kunnolla valaistuja. [33.]

Suosituimmat visuaaliset efektit ovat partikkeliefektit, ympäristöefektit, valaistusefektit, räjähdys- ja tuhoutumiseffektit, nestesimulaatiot, vaatesimulaatiot, motion blur, depth of field ja jälkikäsittely. Partikkeliefektit ovat esimerkiksi savua, tulta, pölyä. Ne ovat elementtejä, jotka luovat peliin realismia. Ympäristöefekteihin kuuluvat vesi, sumu, tuuli ja muut sääefektejä. Ne luovat tunnelmaa ja immersiota pelimaailmaan. Valaistusefekteillä voidaan luoda realistisia heijastuksia, varjostuksia ja valaistusta. Nestesimulaatiot simuloivat eri nesteitä esimerkiksi vettä ja laavaa. Ne luovat realismia vesiroiskeisiin ja muihin nesteen käyttäytymisiin. Vaatesimulaatiot vaikuttavat vaatteiden käyttäytymiseen. Motion blur lisää sumeusefektiiä, kun esimerkiksi peliobjektit liikkuvat nopeasti. Depth of field simuloi, miten silmät keskittyvät eri lailla esineisiin, jotka ovat eri etäisyydellä. Jälkikäsittelyefektit tehdään koko ruudulle renderöinnin jälkeen. Jälkikäsittelyefekteihin kuuluvat esimerkiksi linssin heijastukset, bloom ja väriluokittelu. Nämä efektit parantavat pelin visuaalista tyyliä. [34.]

### 3 Optimointi

Pelin optimoinnilla tarkoitetaan sitä, että varmistetaan pelin toimivuus useille eri laitteille, joilla peliä olisi tarkoitus pelata. Optimoinnin yleisimmistä tavoitteista on pitää ruudunpäivitysnopeus mahdollisemman korkeana ja yhtenäisinä niillä alustoilla, joihin peliä ollaan tekemässä. Optimoinnin perusta on, miten peli saadaan toimimaan mahdollisemman sujuvasti mahdollisemman usealla laitteella. [35.]

Videopelin optimointi on tärkeää. Mitä enemmän optimoitu peli on sitä enemmän peliä, voidaan pelata monella eri laitteella. Mitä useammalla laitteella peliä voidaan pelata, sitä isompi pelaajakunta pelillä on, joka auttaa pelin menestyksessä. Teknologian kehityksen seurauksena pelilaitteet paranevat ja videopeleistä tulee monimukaisempia, sillä peleistä pyritään luoda realistisia. Siksi pelinkehityksessä on muistettava, ettei pelaajilla välttämättä ole uusimpia ja tehokkaimpia laitteistoja. Pelikokemuksesta on vaikea nauttia, jos laitteiston suorituskyky heikkenee tai ruudunpäivitysnopeus on matala. Nämä tilanteet voivat vaikuttaa pelinkehittäjien maineeseen, jos peliä ei optimoida riittävästi. Peliympäristön suunnittelu ei voi olla sama eri alustoille, koska mobiililaitteilla, tietokoneilla ja konsoleilla on erilaiset tekniset ominaisuudet. [35.] [21.]

#### 3.1 Mobiili

Mobiililaitteiden laajojen eri näytönkokojen ja käyttöjärjestelmien takia on tärkeä testata mobiilipelien reagoitukyky. On tärkeää varmistaa mobiilipelien suorituskyky ennen kuin peli julkaistaan, koska mobiililaitteiden suorituskyky, näytöt, asetukset ja käyttöjärjestelmät vaihtelevat eri laitteiden välillä. Mobiililaitteiden suorituskykyä voidaan parantaa resurssien hallinnalla, akun keston optimoinnilla, profilointityökalujen käyttämisellä, grafiikan optimoinnilla ja eri alustojen yhteensopivuudella. [36.]

Resurssienhallinta on tärkeää mobiililaitteille niiden vähäisten resurssien takia verrattuna esimerkiksi tietokoneisiin, joissa on paljon enemmän resursseja käytettävänä. Muistinhallinta on tärkeää mobiililaitteiden rajallisen muistikapasiteetin takia, millä varmistetaan muistin tehokas käyttö sekä resurssien vapautuminen silloin, kun niitä ei enää tarvita. Tämän avulla voidaan välttää pelin hidastumista ja kaatumista. Resurssienhallinnan tärkeisiin alueisiin kuuluu myös prosessorin ja näyttönohjaimen tehokas hyödyntäminen. Resurssien optimointi auttaa myös mukavamman pelikokemuksen luomisessa, koska se parantaa ruudunpäivitysnopeutta. [36.] [37.]

Mobiilipelien akun käytön optimointi on tärkeä osa-alue, johon tulisi kiinnittää paljon huomiota, jotta voidaan varmistaa keskeytymätön pelaaminen pitkäksi aikaa. Mitä enemmän tehoa peli vaatii muun muassa grafiikan renderöimiseen, sitä nopeammin akku tyhjenee. Akun käyttöikä voidaan pidentää vähentämällä taustatoimintoja. Ruudunpäivitysnopeuden alentaminen auttaa myös pidentämään akun käyttöikä. Pelin ruudunpäivitysnopeutta voidaan alentaa hitaissa kohdissa ja nostaa sitä pelaamista varten. Näiden alueiden optimoinnilla vähennetään jatkuvaa tarvetta ladata akkua ja voidaan pidentää pelaamisaikaa. [38.] [36.] [39.]

Profilointityökalut auttavat pelien suorituskyvyn analysoimisessa. Profiloinnin avulla saadaan peli toimimaan tehokkaammin, koska voidaan tunnistaa, mitkä osat pelistä tarvitsevat optimointia eniten ja missä alueissa optimointia ei tarvitse. Paras tapa on aloittaa työkalun käyttö jo pelin kehityksen alussa, koska suorituskykyongelmat ovat helpompi ratkaista aikaisessa vaiheessa. [36.] [40.] [41.]

Grafiikan optimointi on tärkeää, sillä pelien tekstuurit ja 3D-mallit vaativat paljon tehoa. Niiden pienentämisellä voidaan parantaa suorituskykyä. Tekstuurien pakkaaminen on hyvä optimointitapa, jolla parannetaan suorituskykyä vaikuttamatta visuaaliseen laatuun. On hyvä lisätä peliin vaihtoehtoja grafiikka-asetusten säätämiseksi, jotta peliä voidaan pelata vähemmän tehokkailla laitteilla. Mobiililaitteiden näytön koon vuoksi 3D-malleissa kannattaa keskittyä isompiin muotoihin, koska pienemmät yksityiskohdat eivät saata näkyä pieneltä näytöltä. Hyvä tapa on pitää 3D-mallit yksinkertaisena, mikä voidaan saavuttaa matalaresoluutioisella taidetyylillä. [42.] [36.] [43.] [21.]

Jos peliä ollaan kehittämässä monelle eri alustalle yhteensopivuuden optimointi, on välttämätöntä, jotta voidaan varmistaa samanlainen kokemus pelaajille kaikkien alustojen kanssa. Jos peliä ei ole optimoitu jokaiselle alustalle, se voi tarkoittaa huonompaa suorituskykyä jollain laitteilla. Eri alustoilla on eri ominaisuuksia ja rajoituksia. Näiden takia saatetaan joutua tekemään kompromisseja, koska jotkin ominaisuudet eivät saata toimia toisella alustalla. [44.]

### 3.2 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus eli VR-pelien optimointi on tärkeää, koska VR-pelit ovat vaativampia kuin perinteiset pelit esimerkiksi tietokoneille. Immersion ja nautinnollisen pelikokemuksen takaamiseksi, VR-pelit tarvitsevat korkean ruudunpäivitysnopeuden molemmille silmille, matalan vii-

veen ja renderöinnin korkealla resoluutiolla. Huonosti optimoitu peli vaikuttaa negatiivisesti pelaajan kokemukseen ja voi johtaa pelaajan pahoinvointiin. [45.] [46.] [47.] VR-pelejä voidaan optimoida monilla erilaisilla tavoilla. Niitä ovat esimerkiksi grafiikan optimointi, VR-laitteiden ominaisilla tekniikoilla sekä dynaamisella resoluutiolla.

Grafiikan optimoinnilla voidaan parantaa VR-pelien suorituskykyä. 3D-mallien yksityiskohtien vähentäminen on hyvä optimointi tapa, mitä varten on olemassa hyvä työkalu, Level of Detail. Level of Detail tarkoittaa 3D-mallien yksityiskohtien tasoa. Tällä tarkoitetaan 3D-mallien monimutkaisuutta. Tämän työkalun avulla voidaan vaihtaa mallien yksityiskohtien tasoa riippuen, kuinka kaukana 3D-mallit ovat kamerasta. 3D-mallit järjestetään siten, että 3D-objektin yksityiskohdat pienenevät etäisyyden kasvaessa ja suurenevat kameran ollessa lähellä. Level of Detail -mallien luomiselle löytyy automatisoituja vaihtoehtoja. Jos LOD-mallit luodaan käsin, objektien kuuluu olla muodoltaan ja ulkonäöltään tarpeeksi samannäköisiä, mutta geometrialtaan riittävän erilaisia, että suorituskykyä voidaan parantaa. Tekstuureiden ja varjostimien optimointi on myös tärkeää. Tekstuureita voidaan optimoida esimerkiksi tekstuureiden pakkaamisella. Monimutkaiset varjostimet vaativat myös enemmän tehoa näytönohjaimelta. Yksinkertaisten varjostimien käyttö objekteissa, mitkä ovat kauempana kamerasta, on hyvä tapa parantaa suorituskykyä. [46.] [48.] [45.] [49.]

VR-laitteilla on myös uniikkeja optimointitekniikoita. Esimerkiksi Asynchronous TimeWarp eli ATW ja Asynchronous SpaceWarp eli ASW, mitkä ovat Oculus-laitteiden ominaisuuksia, mutta muilla VR-laitteilla on myös samankaltaisia optimointimenetelmiä. Näiden tekniikoiden avulla voidaan parantaa suorituskykyä ja pienentää viivettä. Käyttämällä näitä tekniikoita voidaan ylläpitää pelikokemus tasaisena, vaikka ruudunpäivitysnopeus tippuisi. ATW säätää renderöityä kuvaa pään sijainnin perusteella ennen sen näyttämistä ruudulla. ASW toimii samalla tavalla, mutta ottaa myös liikkeen VR-ympäristössä huomioon. [45.] [50.]

VR-laitteilla tasainen ruudunpäivitysnopeus on todella tärkeää, jotta voidaan parantaa pelikokemusta ja vähentää pahoinvointia pelaamisessa. Tähän hyvä optimointitekniikka on dynaaminen resoluutio, mikä säätää pelin resoluutiota reaaliajassa. Dynaaminen resoluutio vaihtaa resoluutiota riippuen laitteen suorituskyvystä. Kun VR-laitteen näytönohjain on kovassa kuormituksessa, resoluutiota pienennetään, jolloin ruudunpäivitysnopeus pysyy tasaisena. [50.] [45.]

### 3.3 Konsolit

Konsolit ovat standardisoituja laitteita, minkä takia konsolipelien optimointi on ainutlaatuista, koska pelinkehittäjillä on konsolien tarkat tekniset tiedot saatavilla. Koska konsolien laitteisto pysyy samana, pelit voidaan optimoida laitteiston vaatimusten mukaisesti. Konsoleissa optimointi eroaa esimerkiksi tietokoneisiin, joiden teknisissä ominaisuuksissa voi olla laajoja eroavaisuuksia. Pelin optimoinnissa on huomioitava, että peli toimii konsolien eri versioilla, jos peli tehdään taaksepäin yhteensopivaksi eri konsolisukupolville. [37.] [51.]

Konsolipelien optimoinnissa keskitytään tasaisen ruudunpäivitysnopeuden ja resoluution ylläpitämiseen. Tämä tarkoittaa että, keskitytään eniten näytönohjaimen optimointiin. Hyviä optimointitapoja ovat muun muassa grafiikan optimointi, resurssien hallinta ja profilointityökalujen käyttö. Konsolipelien optimointi saatetaan ulkoistaa muille yrityksille, koska optimointi prosessi voi olla haastavaa. [37.] [51.] [52.]

### 3.4 Optimointi 3D-mallinnuksessa

3D-mallien optimointi on tärkeä osa videopelien tekoa, jotta voidaan pitää pelikokemus mukavana. Eri alustoilla on erilaiset tekniset ominaisuudet joten, optimoinnin tarve vaihtelee esimerkiksi, mobiililaitteilla on heikompi suorituskyky kuin tietokoneilla. Tämän takia mobiililaitteet tarvitsevat enemmän 3D-mallien optimointia sulavan pelikokemuksen takaamiseksi. [53.] [54.]

Yksinkertaista geometriaa voidaan optimoida käsin poistaa polygoneja, mutta joskus voidaan tarvita automatisoituja työkaluja. 3D-malleista voidaan poistaa polygoneja, jota pelaaja ei koskaan näe, näitä ei tarvitse pelin turhaan ladata. Turhia polygoneja ovat muun muassa rakennusten takaosat, ajoneuvojen pohjat ja sellaiset 3D-mallit, joiden geometria menee maan läpi. Nämä geometriset osat voidaan yleensä poistaa. Samoin päällekkäin menevät polygonit voidaan poistaa. Objekteja voi myös yhdistää, mikä parantaa suorituskykyä, sillä yhden esineen lataaminen on parempi kuin usean objektin lataaminen. Objektien yhdistäminen on helppo ja nopea tapa parantaa suorituskykyä. Retopologia on prosessi, joka parantaa suorituskykyä. Prosessissa objektille luodaan uusi yksinkertaistettu topologia. Retopologia voidaan toteuttaa automaattisesti useissa 3D-mallinnustyökaluissa, joka luo 3D-mallille mahdollisimman vähän polygoneja. [55.]

Matalaresoluutioinen malli on 3D-malli, joka käyttää minimaalisen määrän polygoneja kuvaamaan objektin muotoa ja rakennetta. Vähentämällä polygonien määrää kevennetään 3D-mallin

renderöimiseen tarvittavaa laskentakuormaa, mikä parantaa suorituskykyä. Matalaresoluutioiset mallit latautuvat paljon nopeammin kuin isompaa polygon-määrää käyttävät korkearesoluutioiset mallit. Matalaresoluutioiset mallit vähentävät viivettä pelin latauksessa ja varmistavat sulavan pelikokemuksen. Oikeilla tekniikoilla matalaresoluutioisista malleista voidaan luoda visuaalisesti korkealaatuisia. Matalaresoluutioisista malleista saadaan korkealaatuisia hyödyntämällä korkearesoluutioista mallia. Tässä prosessissa yhdestä objektista luodaan sekä korkearesoluutioinen malli että matalaresoluutioinen malli. Prosessissa matalaresoluutioinen malli säilyttää alkuperäisen muotonsa. Kun molemmat korkea- ja matalaresoluutioiset mallit on luotu, siirrytään beikkaukseen. Beikkauksessa korkearesoluutioisen mallin normaalikartta generoidaan, minkä jälkeen tätä normaalikarttaa käytetään matalaresoluutioisella mallilla. Tämä luo illuusion, että 3D-malli on yksityiskohtaisempi ilman, että tarvitsee lisätä ylimääräisiä polygoneja. Tämä on tehokasta suorituskyvylle samalla säilyttäen korkean visuaalisen ilmeen. [53.]

### 3.5 Optimointi teksturoimisessa

Tekstuurit ja materiaalit ovat olennainen osa 3D-mallin tuotantoa. Tekstuurit kuitenkin kuluttavat paljon muistia ja prosessointitehoa, mikä vaikuttaa suorituskykyyn ja laatuun. Siksi on tärkeää optimoida tekstuurit ja materiaalit parhaan suorituskyvyn ja tehokkuuden saamiseksi. Tekniikoita, joita tekstuurien optimoinnissa voidaan hyödyntää ovat Trim sheet, teksturi-atlas ja Mip-map. [56.]

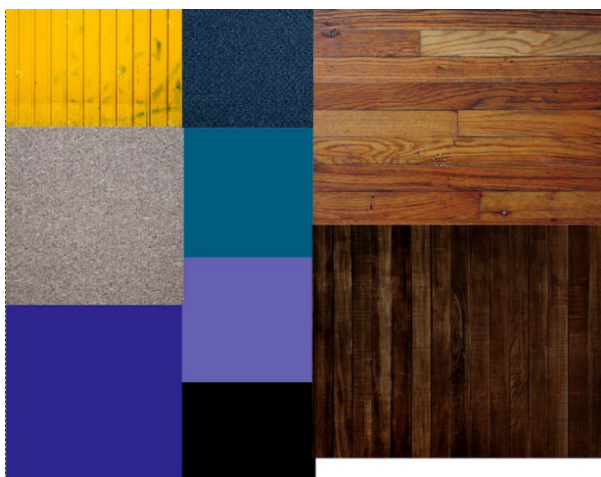
Trim sheetit on tapa yhdistää useita teksturielementtejä yhteen tekstuuriin, joita voidaan käyttää 3D-malleissa. Trim sheetit on hyvä tapa säästää aikaa ja tekstuurimuistia, koska tarvitsee luoda vain yksi teksturi, jota voi käyttää moneen 3D-malliin. Pelituotannossa trim sheet -tekstuureita käytetään muun muassa ympäristön teksturoimisessa. Trim sheet on horisontaalisesti toistuva teksturi. Koska trim sheetissä tarvittavat materiaalit ovat yhdessä tiedostossa, voidaan helposti luoda tekstuureista eri variantteja esimerkiksi tekstuurien väriä vaihtamalla. Näin voidaan säilyttää visuaalista yhteenkuuluvuutta, kun tekstuurit ovat samasta lähteestä. Trim sheetien hyödyntäminen vähentää pelitason latausaikaa, sillä peliympäristön lataamiseen tarvitaan vain yksi trim sheet -materiaali. Trim sheet ja normaaliteksturi eroaa siten, että trim sheetissä ensin suunnitellaan ja teksturi, minkä jälkeen 3D-malli UV-unwrapataan sopimaan tekstuuriin. Kuvassa 5 esimerkki rakennukselle luodusta trim sheet -tekstuurista. [57.] [58.] [59.] [60.]



Kuva 5. Rakennukselle luotu trim sheet -tekstuuri. [59]

Tekstuuri-atlas on tekstuuri, johon on pakattu useita eri tekstuureita yhden tekstuurin sisälle. Tekstuuri-atlakset tekevät renderöimisestä paljon nopeampaa. Tekstuuri-atlaksen tekoon käytetään valokuvaeditointi-työkaluja, joilla kuvatekstuurit asetellaan atlakselle. [58.] [61.]

Tekstuuri atlaksessa on rajoituksiakin. Toistuvat tekstuurit eivät toimi tekstuuri-atlaksien kanssa. Tekstuuri-atlas alkaa näyttämään atlaksen toisia tekstuureita, jos sitä aletaan toistamaan. Tekstuuri muistia myös tuhlaamaan paljon, jos kaikki tekstuurit atlaksessa eivät ole käytössä. On kannattavampaa käyttää tekstuuri-atlasta vain silloin, kun kaikki tai suurin osa tekstuureista atlaksesta ovat näkyvissä. Kuvassa 6 nähdään esimerkki, kuinka tekstuuri-atlakseen on yhdistetty useita eri tekstuureita. [62.]



Kuva 6. Tekstuuri-atlas. [61]

Mipmap luo joukon pienempiä tekstuureita alkuperäisen tekstuurin perusteella. Mipmap minimoi tekstuurin aliasointia ja parantaa suorituskykyä, koska ei käytetä ylimääräistä tekstuuri-dataa. Aliasointi esiintyy tekstuurissa, kun peliobjekti on kauempana kamerasta, mikä aiheuttaa välkky-misefektiä. Mipmap on tärkeää tekstuurisuodatuksessa, koska sen avulla voidaan käyttää tekstuurin heikompa versiota, kun peliobjekti on kauempana kamerasta. Kun peliobjekti on lähempänä kameraa, käytetään isompiresoluutioista versiota tekstuurista. Mipmapin avulla näytönohjaimen ei tarvitse renderöitä alkuperäistä tekstuuria peliobjektista, silloin kun se on kaukana kamerasta. Tämä parantaa näytönohjaimen suorituskykyä. Mipmapin voi tehdä automaattisesti pelimoottoreiden sisällä tai manuaalisesti itse. [48.] [63.] [64.] Kuvassa 7 nähdään tekstuuri Mipmapissa.



Kuva 7. Mipmap. [65]

Tekstuurin koko kasvaa Mipmapin käytön takia, mikä vie tilaa kovalevyiltä ja muistista. Jos tekstuuria renderöidään vain alkuperäisellä resoluutiolla, esimerkiksi käyttöliittymätekstuurissa, jota ei skaalata. Tällaisessa tapauksessa Mipmap ei ole hyödyllinen. [64.]

### 3.6 Optimointi Unreal Engineä

Pelinkkehittäjien tavoitteena on luoda mahdollisimman mukava pelikokemus mahdollisimman usealle pelaajalle. Peliversion tulisi toimia useilla laitteilla mahdollisimman optimaalisesti, jotta pelissä voidaan tarjota pelaajille paras ruudunpäivitysnopeus sekä paras pelikokemus. Optimoinnilla nämä pysytyttään saavuttamaan. Pelimoottori Unreal Engine pystyy tarjoamaan useita optimointitekniikoita, joita pelinkkehittäjät voivat pelien optimoinnissa käyttää. [66.] Unreal Enginen

optimointityökaluja ovat muun muassa Level of Detail -, Culling-, Defeating- ja Proxy Geometry -työkalut, joita voidaan hyödyntää lähestulkoon jokaisen pelin optimoinnissa.

Kappaleessa 3.2 käsiteltiin, mikä Level of Detail on. Unreal Engine:ssä Level of Detail luodaan 3D-malleille automaattisesti. Unreal Enginen asetuksista saadaan valittua LOD-asetukset, josta voidaan määrittää, kuinka paljon Level of Detailia 3D-malliin halutaan. Jokaiseen luodusta LODista nähdään, kuinka paljon niissä on kolmioita ja vertexejä. Asetuksia säätämällä voidaan vaikuttaa siihen, milloin kamera on tarpeeksi kaukana 3D-mallista, jolloin se vaihtaa LODia pienempään. Tämä automaattinen työkalu on hyödyllinen, sillä eroa alkuperäiseen 3D-malliin ei juurikaan erota, mitä kauemmas kameraa mallista viedään. Automaattinen LOD-generointi toimii normaalien 3D-mallien lisäksi hahmoille. Automaattisen LODin lisäksi voidaan tuoda itse tehdyt LODit Unreal Enginen ja asetuksista vaihtamalla niitä voidaan käyttää samalla tavalla, kuin automaattisesti luotuja LODEja. Kuvassa 8 Esimerkki LODEista. [67.]



Kuva 8. Esimerkki LODEista. [68]

Culling on prosessi, jossa määritetään, mitä objekteja kohtauksessa ei nähdä, jotka voidaan leikata pois. On tehokkaampaa olla renderöimättä objekteja, jotka eivät ole pelaajan näkyvissä. Cullingista on olemassa monta eri muotoa, kuten distance culling, precomputed visibility culling, view frustum culling ja dynamic occlusion culling. Distance culling on kaikista tehokkain tapa, joka ei tarvitse paljon tehoa toimiakseen. Objekti leikataan eli ei renderöidä, kun rajoituslaatikko on tietyn etäisyyden päässä kamerasta. Unreal Enginen Cull Distance Volume- työkalu on hyödyllinen suuriin ulkotilapeliympäristöihin, joissa on yksityiskohtaisia sisätiloja. View frustum on käytössä Unreal Engine:ssä automaattisesti. View frustum tarkistaa kamerasta, mitkä objektit ovat kamera näkymän ulkopuolella. Se leikkaa ne objektit pois näkymästä. Tämä voi olla kallis tapa, koska se tarkistaa joka ruudunpäivityksellä, mitkä objektit pitää leikata. Precomputed visibility volumes ei toimi hyvin isoihin tasoihin pelissä, mutta toimii hyvin pienemmissä tasoissa. Se tallentaa tietoa peliobjektista, onko objekti näkyvissä riippuen kameran sijainnista. Dynamic occlusion tarkistaa kamerasta ja muista peliobjekteista näytönohjainta käyttäen, jos toinen peliobjekti peittää toisen

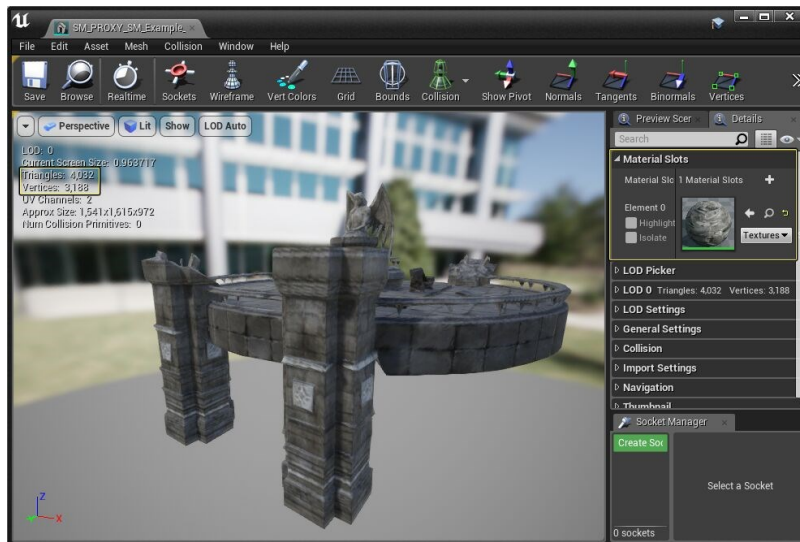
peliohjainten kamera näkyvässä, se leikkaa pois piilossa olevan peliohjainten. Tämä on yleensä kaikista kallein Culling-tapa. [69.] [70.] [71.]

Defeaturing on optimointitekniikka, joka poistaa mallista turhia yksityiskohtia, jotka eivät pelaamisessa vaikuta. Tämä yksinkertaistaa 3D-mallin monimutkaista geometriaa. Se vähentää 3D-mallin vertexien ja kolmioiden määrää poistamalla turhia koloja ja osia 3D-malleista, mikä parantaa suorituskykyä, sillä mallista tulee yksinkertaisempi ilman, että visuaalinen tarkkuus kärsii. Kuvassa 9 esimerkki defeaturing-työkalusta. [72.] [66.]



Kuva 9. Defeaturing-työkalu poistaa ylimääräiset yksityiskohdat. [73]

Proxy Geometry -työkalu on hyödyllinen pelikentissä, joissa on suuri määrä monimutkaista geometriaa. Työkalun avulla voidaan korvata korkearesoluutioiset mallit yksinkertaisimmalla versiolla. Tämä parantaa suorituskykyä ja vähentää muistin käyttöä. Hyödyllisin käyttötapa työkalulle on avoimen maailman pelit, joissa on suuria maisemia. Työkalulla voidaan yhdistää usea 3D-malli yhdeksi objektiksi. Se myös yhdistää 3D-mallien tekstuurit ja materiaalit yhdeksi tekstuuriksi ja materiaaliksi. Työkalu vähentää kolmioiden määrää, mutta pyrkii pitämään alkuperäistä muotoaan. 3D-mallit eivät saata näyttää täysin samalta kuin alkuperäinen 3D-malli, mutta säästävät paljon suorituskykyä. Ne sopivat hyvin malleihin, jotka ovat tarpeeksi kaukana kamerasta, jossa eroa laadussa ei edes huomaisi. Kuvassa 10 työkalun luoma lopputulos, kun se on vähentänyt kolmioita 3D-mallista. [72.] [74.]



Kuva 10. Proxy Geometry -työkalun avulla vähennetty objektista kolmioita. [75]

## 4 Projekt

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda projekti, jossa luodaan pieni 3D-ympäristö Unreal Engineä. 3D-mallit tehtiin Blenderissä ja teksturoitiin Substance Painterissä. Projektin teemaksi valittiin mökki metsän ympäröimänä. Tämä valittiin aiheeksi, koska haluttiin tehdä molemmat ulko- ja sisätilaympäristö. Tavoitteena projektissa oli kehittää taitoja ympäristöartistina ja tehdä hieno ja optimoitu ympäristö. Projektin aikana haluttiin oppia käyttämään erilaisia optimointitekniikoita.

Projektissa käytettiin Blenderiä, jossa tehtiin kaikki 3D-mallit. Substance Painteriä käytettiin 3D-mallien teksturoimiseen. Pelimoottoriksi valittiin Unreal Enginen, jonne tuotiin kaikki tehdyt 3D-mallit. Unreal Engineä käytettiin peliympäristön rakentamisessa. Siellä luotiin ympäristön maasto ja lisättiin valaistus sisä- ja ulkotiloihin. Ympäristöön lisättiin visuaalisia efektejä, kuten sumua ja jälkikäsitteleyefektejä. Lopuksi hyödynnettiin Unreal Enginen optimointitekniikoita kuten, Level of Detailia ja Cullingia.

Projektin tarkoituksena oli hyödyntää käytännössä opinnäytetyössä käsiteltyjä aiheita, kuten ympäristön greyboxaus, trim sheetien teko ja käyttö, optimointitapoja sekä visuaalisia efektejä. Lopputuloksesta saatiin luotua näyttävä peliympäristö.

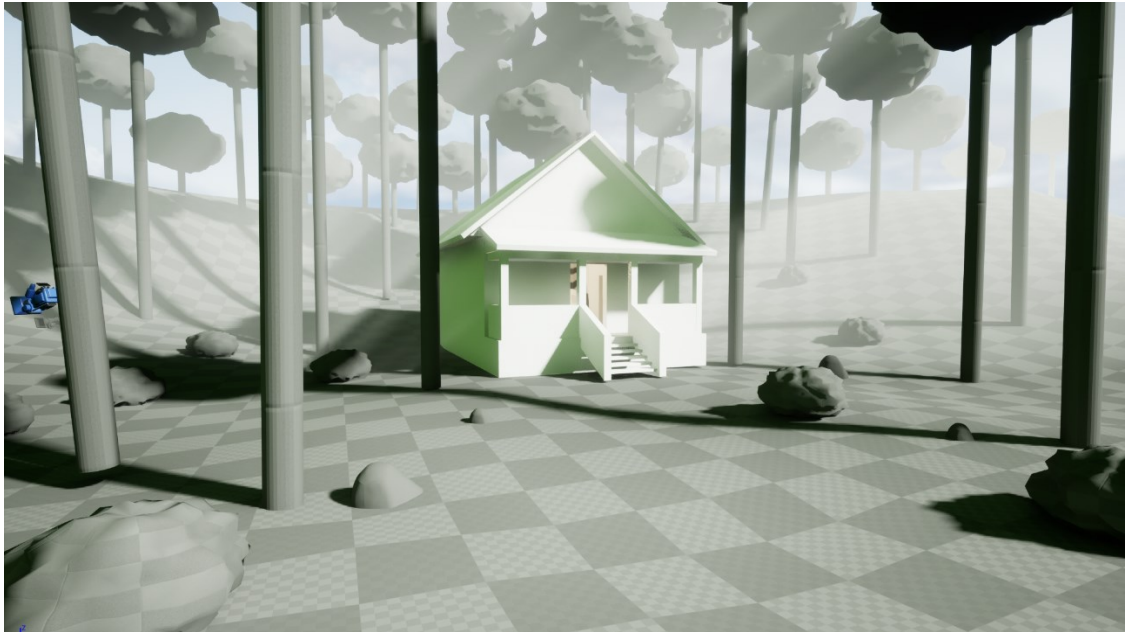
### 4.1 Projektin suunnittelu

Ennen kuin aloitettiin projektin suunnittelua, asetettiin tavoitteeksi, että luodaan realistisen peliympäristön. Koska haluttiin tehdä sisä- ja ulkoympäristö, päädyttiin luomaan mökki metsässä. Mökkiin luotiin sisätila, jossa on huonekaluja ja sen sisällä pystytään liikkumaan.

Suunnitelmana oli tehdä 3D-mallit Blenderissä, jotka teksturoitaisiin Substance Painterissä. Tavoitteena oli myös harjoitella trim sheetien tekoa ja niiden käyttöä. Koska haluttiin harjoitella ympäristön luomista ja kokoamista pelimoottorissa päädyttiin käyttämään projektissa Unreal Engineä.

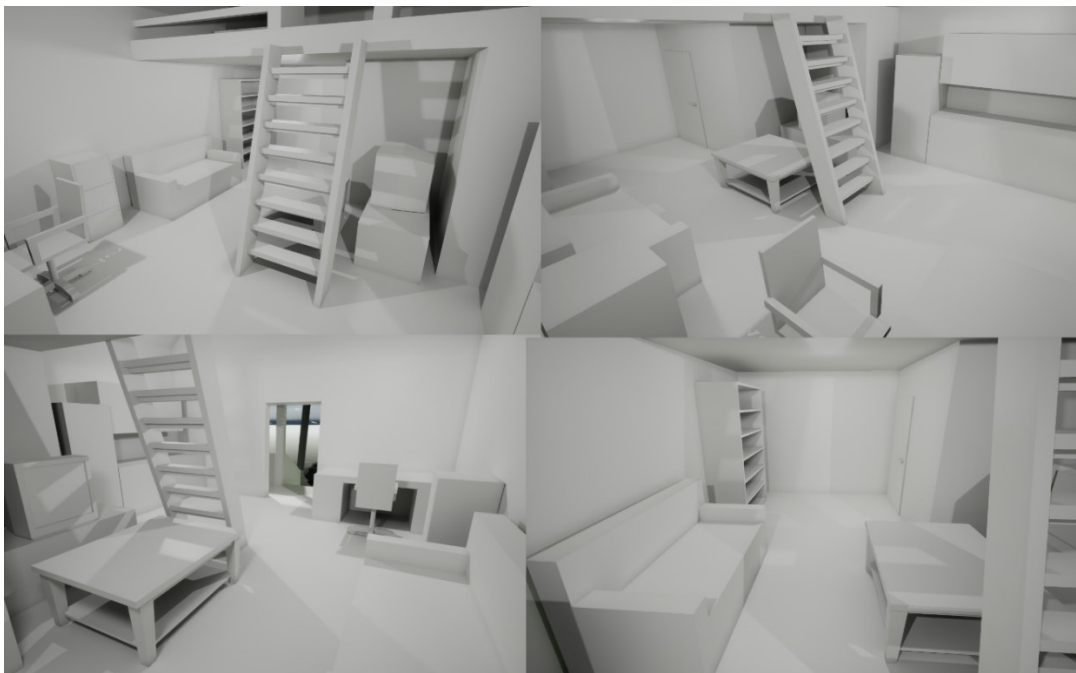
Kun tiedettiin mitä haluttiin tehdä, aloitettiin suunnittelemaan projektin ulkonäköä. Suunnittelu aloitettiin keräämällä referenssejä Google-kuvahausta, Pinterestistä ja Artstationista. Kun referenssit oli kasattu, aloitettiin suunnittelemaan ympäristön greyboxia. Mökki ja sen ympärillä oleva

kasvusto greyboxattiin. Jonka jälkeen ne Unreal Engineessä aseteltiin halutuille pakoilleen. Kuvassa 11 Greyboxattu mökkiympäristö.



Kuva 11. Greyboxattu ympäristö Unreal Engineessä.

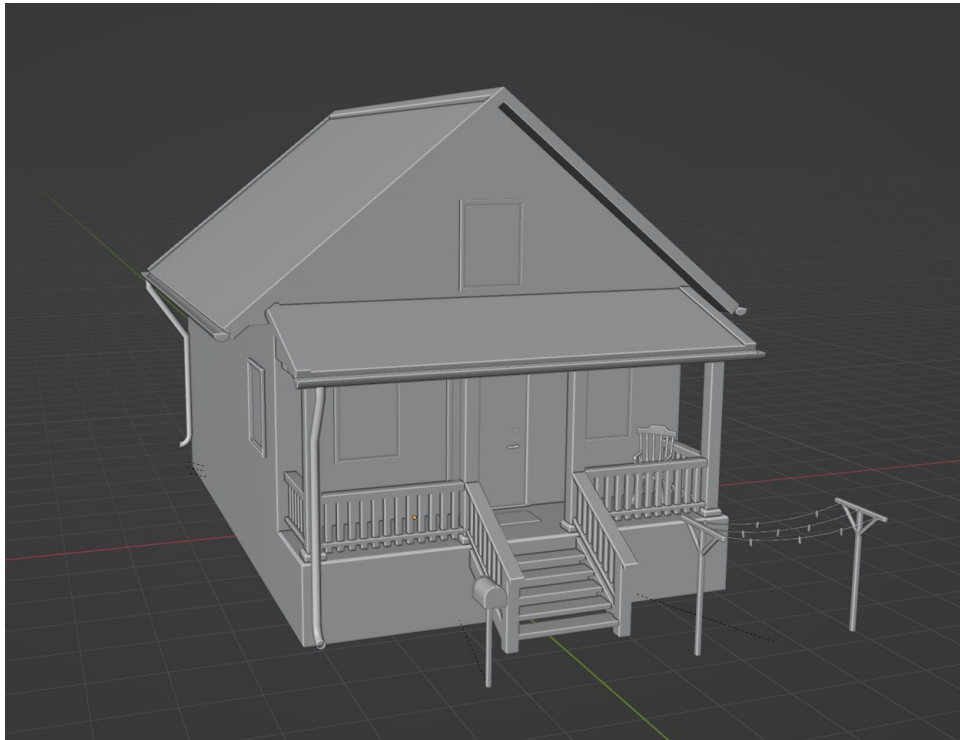
Kun mökin ulkopuoli oli greyboxattu luotiin yksinkertaiset greybox 3D -mallit mökin sisällä olevista esineistä Blenderissä ja ne tuotiin Unreal Engineen, jossa ne aseteltiin mökin sisällä niiden oikeille paikoilleen. Kuvassa 12 sisätilan ympäristö Unreal Engineessä.



Kuva 12. Sisätilan ympäristön greybox eri kuvakulmista.

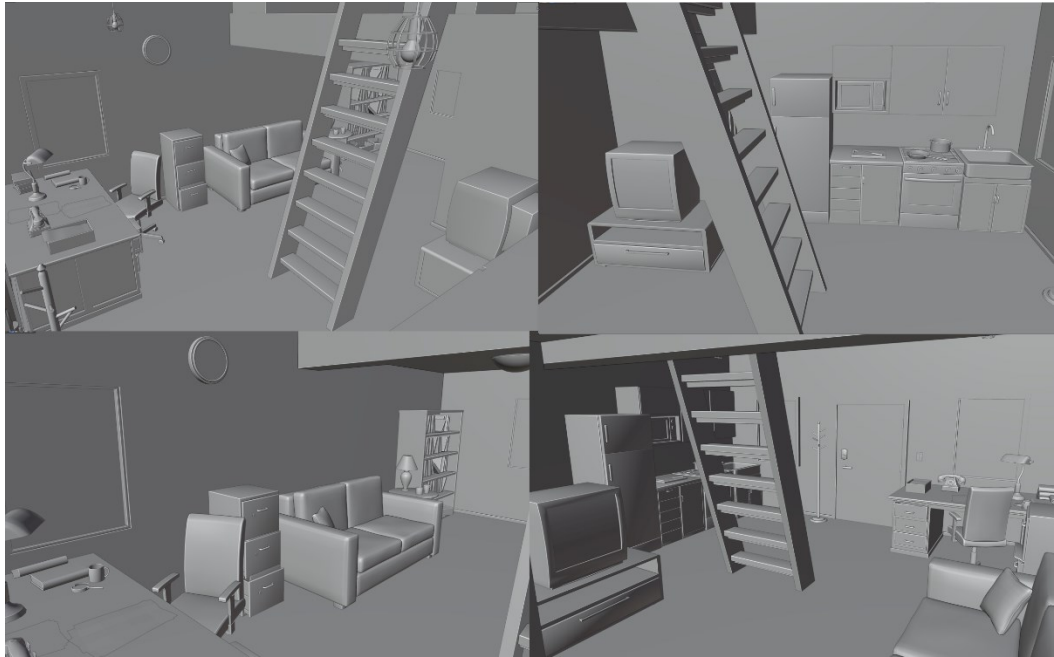
## 4.2 Toteuttaminen

Kun suunnitteluvaihe oli valmis, siirryttiin varsinaiseen projektin toteuttamiseen. Ensimmäiseksi aloitettiin 3D-mallintamaan mökin ulkotilaa yksityiskohtaisemmin greyboxin perusteella. Mökkiin luotiin ikkunat, rännit, terassi, terassin portaat ja terassin aita. Piha-alueelle lisättiin pyykkinaru, postilaatikko ja keinutuoli. Kuvassa 13 teksturoimaton mökin ulkotila.



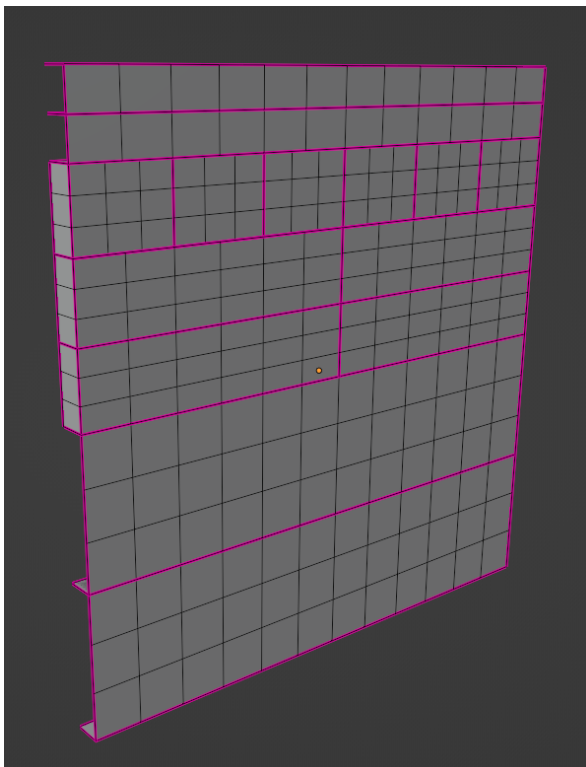
Kuva 13. Valmis mökki ilman tekstuureita.

Kun ulkotila oli valmis, siirryttiin 3D-mallintamaan sisätilan yksityiskohtaisempia 3D-malleja greybox-mallien perusteella. Ensin luotiin suurimmat esineet, jonka jälkeen siirryttiin pienempien objektien luomiseen. Kuvassa 14 valmis teksturoimaton mökin sisätila.



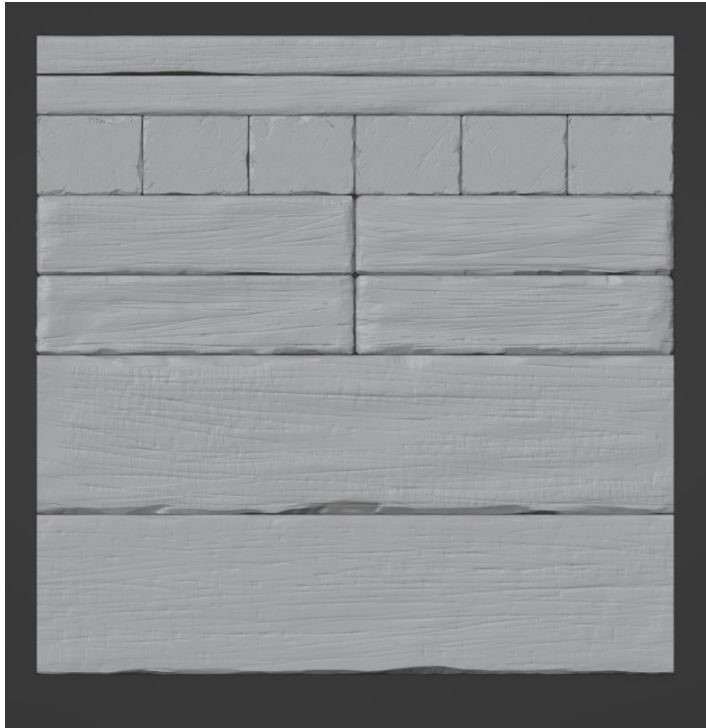
Kuva 14. Mökin sisätilan esineet luotu greyboxin perusteella.

Koska tavoitteena oli luoda optimoitu peliympäristö ja hyödyntää trim sheet -tekstuuria ympäristön optimoinnissa, mökille luotiin trim sheet -tekstuurin. Trim sheet -tekstuurin tekemisen aloitettiin ensin Blenderissä. Se aloitettiin luomalla plane-objekti, joka pilkottiin erilaisiin osiin. Kun osat oli pilkottu omiin liuskoihinsa, lisättiin objektiin lisää geometriaa, jotta sitä voidaan veistää ZBrushissa. Kuvassa 15 on trim sheet pilkottu osiin.



Kuva 15. Trim sheet jaoteltu osiin Blenderissä.

Kun trim sheet oli jaoteltu osiin, se vietiin ZBrush-veistosohjelmaan, jossa veistettiin eri tekstuuriliuskoihin erilaisia yksityiskohtia. Koska ympäristö on puumökki, veistettiin ZBrushissa puun uurteita ja mökinkattoa varten veistettiin tiilitekstuurin yksityiskohtia. Kuvassa 16 veistetyn trim sheetin lopputulos.



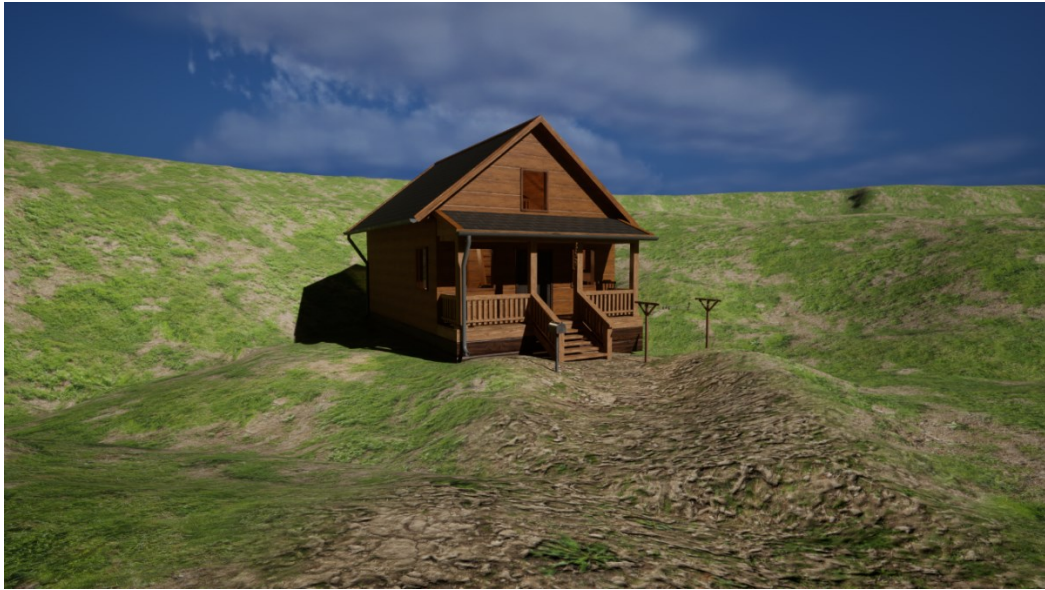
Kuva 16. Trim sheetin veistetyt yksityiskohdat.

Veistämisen jälkeen vietiin 3D-mallin matala- ja korkearesoluutioiset versiot Substance Painteriin, jossa beikkattiin korkearesoluutioisen mallin yksityiskohdat matalaresoluutioiseen malliin. Tämän jälkeen trim sheetille voitiin luoda puu- ja tiilitekstuurit. Kuvassa 17 valmis beikattu ja teksturoitu trim sheet.



Kuva 17. Valmis teksturoitu trim sheet.

Kun trim sheet oli valmis mökki UV-unwrapattiin, jonka jälkeen teksturoitiin mökki asettelemalla UV:t trim sheetille. Kun mökki oli teksturoitu trim sheetillä siirryttiin teksturoimaan mökin sisäisiä yksittäisiä 3D-malleja Substance Painterissa. Kun mallit olivat teksturoitu, tuotiin 3D-mallit Unreal Engineen, jossa ne aseteltiin paikoilleen. Niiden lisäksi tuotiin myös tekstuurit Unreal Engineen, jossa tekstuurit laitettiin 3D-malleille. Tämän jälkeen alettiin muokkaamaan peliympäristön maastoa. Unreal Enginen Landscape-työkalulla veistettiin tie sekä rajattiin ympäristön aluetta pienemmäksi. Näiden jälkeen maahan lisättiin Unreal Enginen kaupasta löytyvä ilmainen tekstuuri. Kuvassa 18 nähdään veistetty ja teksturoitu maasto.



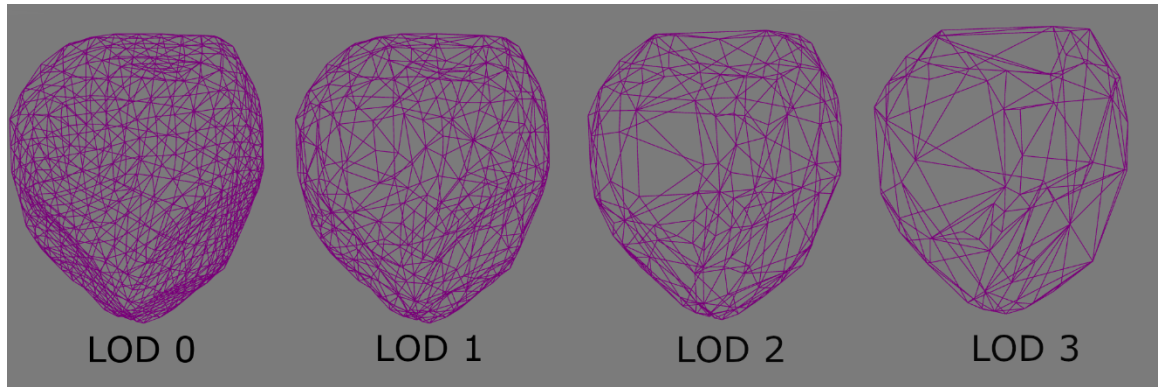
Kuva 18. Landscape-työkalulla rajattu alue.

Unreal Enginen tuotiin aikaisemmin mallinnettuja kasvustoa kuten kiviä ja kasveja. Niitä sijoiteltiin mökin ympärille. Niiden lisäksi käytettiin Unreal Enginen kaupasta aikaisemmin ilmaisella saatuja ympäristöasetteja, kuten puita, ruohoa ja puskia. Kun kasvusto oli aseteltu paikoilleen ja siihen oltiin tyytyväisiä, aloitettiin kokeilemaan eri valaistuksia. Mökin sisälle lisättiin pistevalaisimia 3D-mallinnettujen lamppujen kohdalle. Kun mökki oli valaistu sisältä, siirryttiin ulkotilan valaisemiseen. Kentässä olevaa suuntavaloa muokattiin sekä valon suuntaa vaihdettiin. Valaistuksen yhteydessä muokattiin jälkikäsitteilyefektejä, jolla saatiin luotua ympäristön ulkonäöstä paremman näköisen. Lopuksi lisättiin sumuefekti.

#### 4.3 Optimointi

Projektin lopuksi hyödynnettiin Unreal Enginen optimointityökaluja. Koska projekti ei tule varsinaiseen pelikäyttöön, päädyttiin hyödyntämään optimoinnissa Unreal Enginen Level of Detail - ja Culling-työkaluja.

Unreal Enginen Level of Detail -työkalulla voidaan automaattisesti luoda 3D-mallin LODit, mitä hyödynnettiin ympäristön kivissä, kasveissa ja puissa. Näille malleille luotiin neljä Level of Detail -tasoa. Se auttoi vähentämään 3D-mallien yksityiskohtia, silloin kun kamera on kauempana 3D-mallista. Kuvassa 19 nähdään, kuinka Unreal Engine muuttaa kiven 3D-mallin yksityiskohtien määrää.



Kuva 19. Unreal Enginen automaattisesti luoma Level of Detail kiven 3D-mallille.

Level of Detailin lisäksi projektissa käytettiin Culling-työkalua. Culling-työkalu lisättiin kasveihin ja puuhin. Culling-työkalu ei renderöi objektia, jos objekti on tarpeeksi kaukana objektista.

#### 4.4 Lopputulos

Kun projekti oli loppusuoralla, muokattiin lopuksi kamera-asetuksia, jolla saatiin lisättyä metsämaäisyyden tunnelmaa. Kamerat aseteltiin sisätilassa ja ulkotilassa halutuille kohdille ja niiden lopputuloksista otettiin kuvankaappaukset. Ulkotilan lopputuloksesta tuli näyttävän näköinen, kun siihen lisättiin sumuefekti ja vaihdettiin kameraasetuksia. Ulkotilan lopputulokseen oltiin tyytyväisiä, sillä ulkotila saatiin esitettyä hyvin kamerassa, pelimoottorissa ja valokuvassa. Kuvassa 20 lopputulos ulkoympäristöstä.



Kuva 20. Lopputulos ulkopuolelta.

Lopuksi vaihdettiin sisätilan kameran asetuksia, niin että se sopi tunnelmaan ja siitä otettiin kuvakaappaukset eri kuvakulmista. Sisätilan lopputulos ei onnistunut yhtä hyvin kuin ulkotilan lopputulos. Valaistuksen luominen sisätilaan tuntui vaikeammalta ja hyvien kuvien ottaminen oli sisätilassa haasteellisempaa. Kuvassa 21 nähdään valmis sisätila eri näkökulmista.



Kuva 21. Lopputulos sisäpuolelta.

Projektin lopputulos oli onnistunut ja teoriaosuudessa opittuja tekniikoita pystyttiin hyödyntämään käytännössä. Projektissa opittiin lisää trim sheet -tekstuurin suunnittelusta, tekemisestä ja käytöstä. Samalla opittiin myös käyttämään Unreal Enginen automaattista Level of Detail -työkalua, joka auttoi projektin optimoinnissa. Projektissa onnistuttiin hyödyntämään greyboxausta suunnitteluvaiheessa, mikä auttoi hahmottamaan, millainen ympäristö halutaan tehdä.

## 5 Pohdinta

Opinnäytetyön teoriaosuuden tarkoituksena oli tutkia mitä ympäristösuunnittelu ja sen toteutus pitää sisällään, tutkia optimoinnin tekniikoita eri alustoilla, ympäristön luomisessa sekä pelimoottorissa. Teoriaosuudesta päästiin johtopäätökseen, että ympäristösuunnittelija ja ympäristöartisti tekevät tiivistä työtä yhdessä, jotta peliympäristön visio saadaan henkiin. Suunnittelijan vastuu on luoda toimiva ympäristö ja artisti keskittyy siihen, miltä ympäristö tulee näyttämään. Ympäristöartistin olisi hyvä osata hyödyntää optimointitekniikoita työskennellessään peliympäristöjen parissa. Optimointia voidaan tehdä koko peliympäristön luomisprosessin ajan. Se voidaan aloittaa heti suunnitteluvaiheessa. 3D-mallinnus vaiheessa peliympäristöä pystytään optimoimaan turhien polygonien poistamisella teksturoimiseen saakka. Kun peliympäristö viedään pelimoottoriin, pystytään optimointia automatisoimaan monilla erilaisilla työkaluilla, joilla pystytään parantamaan suorituskykyä.

Projektin tavoitteena oli kokeilla teoriaosuudessa käsitellyjä aiheita käytännössä. Projektin tavoitteena oli harjoitella peliympäristön suunnittelua, toteutusta, optimointia monilla eri osa-alueilla ja lopuksi harjoitella peliympäristön valaistusta sekä hyödyntää visuaalisten efektien käyttöä. Haasteita projektissa oli teksturointi ja valaistuksen luominen peliympäristöön. Teksturoimisen haasteena oli luoda tekstuureista sellaiset, etteivät suuret yksityiskohdat toistu liikaa, joka vaikuttaa 3D-mallien visuaaliseen ilmeeseen. Valaistuksen luominen oli haasteellista, sillä peliympäristön valaistuksesta ei juurikaan aikaisempaa kokemusta ollut. Projektin aikana ajan hallinta osoitautui myös haasteeksi. Projektin aikana jäätin liikaa hiomaan 3D-mallien ja tekstuurien ulkonäköä. Aikaa olisi voitu säästää tyytymällä aikaisemmassa vaiheessa 3D-mallien ja tekstuurien ulkonäköön, jolloin aikaa olisi jäänyt esimerkiksi sisätilan valaistuksen parantamiseen.

Projektin lopputulokseksi peliympäristön ulkotilasta saatiin näyttävä lopputulos. Kameran asetuksia säätämällä ja visuaalisten efektien lisäämien paransi huomattavasti ympäristön ulkonäköä. Teorian optimointitekniikoita pystyttiin hyödyntämään projektissa, joka auttoi peliympäristöä pyörimään tietokoneella paremmin.

## 6 Yhteenveto

Peliympäristön suunnittelu on tärkeä osa pelinkehitystä. Peliympäristön suunnittelussa kehitetään virtuaalinen ympäristö, jota pelaaja pystyy tutkimaan ja olla vuorovaikutuksessa pelimaailman kanssa. Peliympäristön toteutus aloitetaan pelimaailman konseptoinnista. Kun pelimaailma on määritelty, voidaan alkaa luomaan pelimaailmaa. Prosessin seuraavassa vaiheessa yleensä Kenttäsuunnittelija luo peliympäristöstä yksinkertaistetun kentän, jota kutsutaan greyboxiksi. Sitä voidaan käyttää muun muassa pelimekaniikkojen testaamisessa. Ympäristöartisti luo Kenttäsuunnittelijan luoman greyboxin perusteella pelin visuaalisen ilmeen. Ympäristöartisti ja kenttäsuunnittelija työskentelee tiiviisti yhdessä, jotta saadaan luotua haluttu peliympäristö.

Pelin visuaalinen ilme on tärkeä osa peliympäristöä. Hyvällä tyyllivalinnalla voidaan vaikuttaa pelaajan uppoutumista peliin. Oikeanlaisen tyyllivalinnan valitseminen on tärkeää, että se sopii pelin teemaa ja mekaniikkoihin. Tyylejä on olemassa monia. Niitä ovat esimerkiksi Cel-Shaded, fotorealismi ja tyyllitelty. Cel-Shaded on tyyli, jota käytetään silloin, kun pelin ulkonäöstä halutaan luoda sarjakuvamaisen. Fotorealismia käytetään, kun pelin halutaan olevan realistinen. Tyylliteltyssä taidetyyli sopii, kun peliin halutaan yksinkertainen taidetyyli.

Kun peliympäristöä luodaan, on tärkeää, että halutusta ympäristöstä luodaan Moodboard. Siihen voidaan kerätä muun muassa referenssikuvia, jotka kuvaavat haluttua ilmettä, joka peliympäristölle halutaan luoda. Greybox on tapa, jolla suunnitellaan peliympäristö yksinkertaisia muotoa käyttäen. Sen perusteella luodaan peliympäristön lopullinen ilme. Konseptoinnin jälkeen 3D-mallit luodaan, minkä jälkeen 3D-mallille luodaan tekstuuri, tarvittaessa sille luodaan luuranko ja animaatiot. Lopuksi 3D-mallit valaistetaan ja renderöidään. Visuaalisilla efekteillä saadaan parannettua peliympäristön visuaalista ilmettä.

Optimoinnilla varmistetaan, että peli toimii mahdollisemman monella laitteilla säilyttäen nopean ruudunpäivitysnopeuden ja visuaalisen ilmeen. Optimointi voidaan aloittaa jo peliympäristön suunnittelun alussa valitsemalla optimointitekniikat ja optimaalinen visuaalinen tyyli. Optimointia voidaan tehdä koko peliympäristön luomisprosessin ajan. Optimointia voidaan tehdä 3D-mallintaessa, teksturoimisessa sekä lopuksi optimointityökalujen käyttö pelimoottorissa.

Projektissa luotiin pieni peliympäristö, jossa pyrittiin hyödyntää opinnäytetyössä käsiteltyjä optimointi vaihtoehtoja, sekä harjoitella valaistusta ja visuaalisten efektien käyttöä. Lopputulokseksi peliympäristöstä saatiin luotua näyttävä lopputulos, johon oltiin tyytyväisiä.

## 7 Lähteet

- [1] 3D Environment Design | Everything You Need to Know. Polydin Studio. [Internet]. 1.3.2023. [viitattu 02.05.2024]. Saatavilla: [https://polydin.com/3d-environment-design/#What\\_is\\_3D\\_Environment\\_Design](https://polydin.com/3d-environment-design/#What_is_3D_Environment_Design)
- [2] Du Plessis Lauren. What Is Game Environment Design and How to Get Started. Domestika. [Internet]. [viitattu 11.10.2023]. Saatavilla: <https://www.domestika.org/en/blog/10804-what-is-game-environment-design-and-how-to-get-started>
- [3] Gorman Sean. The Role Of Environment Artists & Level Designers. GormanDev. [Internet]. 21.12.2020. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://www.gormandev.com/post/the-role-of-an-environment-artist-a-level-designer>
- [4] maartenjhof. What does an environment artist do in a game studio. Maarten Hof. [Internet]. 22.1.2023. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://maartenhof.com/what-does-an-environment-artist-do-in-a-game-studio/>
- [5] Juegoodmin. How to Choose the Best Art Styles for Your Games. JuegoStudios. [Internet]. 6.3.2023. [viitattu 11.10.2023]. Saatavilla: <https://www.juegostudio.com/blog/how-to-choose-the-best-art-styles-for-your-games>
- [6] Mehrafrooz Behnam. Exploring 3D Art Styles for Games. Pixune. [Internet]. 6.3.2024. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://pixune.com/blog/3d-art-styles/>
- [7] What's the best way to create and keep a style guide for your game? LinkedIn. [Internet]. 25.3.2024. [viitattu 26.05.2024]. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/advice/3/whats-best-way-create-keep-style-guide-your-game-skills-game-design>
- [8] Mefford Joshua. What Cel-Shading Means (& What Famous Games Use It). ScreenRant. [Internet]. 18.11.2020. [viitattu 17.01.2023]. Saatavilla: <https://screenrant.com/cel-shaded-games-zelda-wind-waker-borderlands-hades/>
- [9] Guide to cel shading animation. Adobe. [Internet]. [viitattu 17.01.2023]. Saatavilla: <https://www.adobe.com/uk/creativecloud/animation/discover/cel-shading.html>

- [10] Cel Shading: The Legendary Animation Style of Zelda. VFXapprentice. [Internet]. 9.5.2023. [viitattu 07.10.2023]. Saatavilla: <https://www.vfxapprentice.com/blog/cel-shading-video-games-zelda>
- [11] Nintendo EPD. Legend Of Zelda: Breath Of The Wild. [Videopeli]. 2017. Nintendo
- [12] Jarrod Raine. Breath Of The Wild's Developers Talk About How They Made The New Versions Of Link And Zelda. Zelda Dungeon. [Valokuva]. 22.12.2017. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://www.zeldadungeon.net/breath-of-the-wilds-developers-talk-about-how-they-made-the-new-versions-of-link-and-zelda/>
- [13] Tokarev Kirill. Realistic vs. Stylized: Technique Overview. 80lv. [Internet]. 12.12.2017. [viitattu 01.02.2023]. Saatavilla: <https://80.lv/articles/realistic-vs-stylized-technique-overview/>
- [14] Shahbazi Nazanin. The Art of Pixels – Realistic vs. Stylized Art in Games. Pixune. [Internet]. 6.3.2024. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://pixune.com/blog/stylized-vs-realistic/>
- [15] Everything you need to know about physically based rendering. Adobe. [Internet]. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/pbr.html#>
- [16] Naughty Dog. Uncharted 4: A Thief's End. [Videopeli]. 2016. Sony Computer Entertainment
- [17] Coleman Jahmel. Visual Styles In Videogames. jahmelcoleman. [Internet]. [viitattu 09.10.2023]. Saatavilla: <https://jahmelcoleman.wordpress.com/games-development/200-2/>
- [18] Game art: Difference between Realistic and Stylized. WingFox. [Internet]. 15.2.2022. [viitattu 17.01.2023]. Saatavilla: <https://blog.wingfox.com/game-art-difference-between-realistic-and-stylized/>
- [19] Mevada Dhruv. Stylized vs Hyper-Realistic: Which is Better for Game Art Design. 300Mind. [Internet]. 7.12.2022. [viitattu 25.05.2023]. Saatavilla: <https://300mind.studio/blog/stylized-vs-hyper-realistic-game-art/>
- [20] Gimate-Welsh Adrian. From References to Concept Art. Game Developer. [Internet]. 1.6.2022. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://www.gamedeveloper.com/game-platforms/from-references-to-concept-art>

- [21] Game Environment Modeling: The Essence of Building a Stunning World. Game-Ace. [Internet]. 29.9.2021. [viitattu 18.01.2024]. Saatavilla: <https://game-ace.com/blog/game-environment-modeling/>
- [22] Polygon Academy. Creating Game Environments: Planning a UE4 Environment – ArtStation Challenge | VLOG EP.001 [Video]. Youtube 17.10.2018. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=fJps8QxOh4s&t=121s>
- [23] What is Greyboxing? Tumblr. [Internet]. [viitattu 17.01.2023]. Saatavilla: <https://jackw-gamedesign.tumblr.com/post/139960850160/what-is-greyboxing>
- [24] Blevins Neil. What Is Greyboxing in Videogames?. neilblevins. [Internet]. 5.10.2022. [viitattu 19.01.2024]. Saatavilla: [http://www.neilblevins.com/art\\_lessons/greybox/greybox.htm](http://www.neilblevins.com/art_lessons/greybox/greybox.htm)
- [25] Blockout. The Level Design Book. [Internet]. [viitattu 26.05.2024]. Saatavilla: <https://book.leveldesignbook.com/process/blockout>
- [26] Polygon Academy. 3 IMPORTANT Tips for Greybox Level Design - ArtStation Challenge | VLOG EP.002 [Video]. Youtube 23.10.2018. [viitattu 17.01.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=4wziE0AYCoo>
- [27] Maxwell Chandler Heather. The Game Production Toolbox. CRC Press; 2020
- [28] Unleashing Creativity: Exploring the Game Art Pipeline. Polydin Studio. [Internet]. 3.7.2023. [viitattu 02.05.2024]. Saatavilla: <https://polydin.com/game-art-pipeline/>
- [29] Collins Tiger. 3D Modelling Pipeline. Medium. [Internet]. 22.6.2018. [viitattu 02.05.2024]. Saatavilla: <https://medium.com/@homicidalnacho/3d-modelling-pipeline-bd9be7dba136>
- [30] Creative Bloq Staff. How to light your basic games environment. Creative Bloq. [Internet]. 7.5.2015. [viitattu 18.01.2024]. Saatavilla: <https://www.creativebloq.com/video-games/how-light-your-basic-games-environment-51514875>
- [31] War Robots Universe. Using light and color in game development: a beginner's guide. Medium. [Internet]. 30.1.2024. [viitattu 26.05.2024]. Saatavilla: <https://medium.com/my-games-company/using-light-and-color-in-game-development-a-beginners-guide-400edf4a7ae0>

- [32] VFX for games: everything you need to know & examples. Kevuru Games. [Internet]. 17.3.2023. [viitattu 03.05.2024]. Saatavilla: <https://kevurugames.com/blog/vfx-for-games-everything-you-need-to-know/>
- [33] Environment Visual Effects in Games. Mad-vfx. [Internet]. 22.7.2023. [viitattu 03.05.2024]. Saatavilla: <https://mad-vfx.com/environment-visual-effects/>
- [34] Veselinovikj Bojan. VFX in Gaming: The Ultimate Guide to Visual Effects in Video Games. BORISFX. [Internet]. 14.3.2024. [viitattu 03.05.2024]. Saatavilla: <https://borisfx.com/blog/vfx-in-gaming-ultimate-guide-visual-effects-games/>
- [35] Sannan. How Does Game Optimization Work?. Explain Game Dev. [Internet]. 15.1.2023. [viitattu 01.02.2023]. Saatavilla: <https://explaingamedev.com/how-does-game-optimization-work/>
- [36] Patel Nishil. How to Optimize Game Performance for Mobile Devices? qable. [Internet]. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://www.qable.io/blog/optimize-mobile-game-performance>
- [37] The Essentials of Video Game Optimization | Maximizing Performance. Polydin. [Internet]. 10.11.2023. [viitattu 03.04.2024]. Saatavilla: <https://polydin.com/video-game-optimization/>
- [38] Consider battery life and heat dissipation. Arm Developer. [Internet]. [viitattu 24.05.2024]. Saatavilla: <https://developer.arm.com/documentation/100959/0101/Optimizations-and-optimization-techniques/Optimization-best-practices/Consider-battery-life-and-heat-dissipation?lang=en>
- [39] Krogh-Jacobsen Thomas. Optimize your mobile game performance: Expert tips on graphics and assets. Unity Blog. [Internet]. 3.8.2021. [viitattu 24.05.2024]. Saatavilla: <https://blog.unity.com/games/optimize-your-mobile-game-performance-expert-tips-on-graphics-and-assets>
- [40] Practical guide to optimization for mobiles. Unity Docs. [Internet]. 24.2.2021. [viitattu 24.05.2024]. Saatavilla: <https://docs.unity3d.com/2020.1/Documentation/Manual/MobileOptimizationPracticalGuide.html>
- [41] Serebrennikova Kseniya. Unity Shared Tips on Mobile Game Optimization. 80lv. [Internet]. 1.7.2021. [viitattu 24.05.2024]. Saatavilla: <https://80.lv/articles/unity-shared-tips-on-mobile-game-optimization/>

- [42] Leo Bu. Optimizing mobile games for low-resource devices: tips to improve performance. LinkedIn. [Internet]. 10.8.2021. [viitattu 24.05.2024]. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/pulse/optimizing-mobile-games-low-resource-devices-tips-improve-leo-bu>
- [43] Mobile optimization tips for technical artists – Part 1. Unity. [Internet]. [viitattu 24.05.2024]. Saatavilla: <https://unity.com/how-to/mobile-game-optimization-tips-part-1>
- [44] Taylor Noah. Cross-Platform Mobile Game Development: Pros and Cons. Medium. [Internet]. 10.1.2024. [viitattu 24.05.2024]. Saatavilla: <https://medium.com/@noahtaylor/cross-platform-mobile-game-development-pros-and-cons-7367668ee6e2>
- [45] Znanye. How to Handle Performance Optimization in VR Development? LinkedIn. [Internet]. 14.6.2023. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/pulse/how-handle-performance-optimization-vr-development-znanye>
- [46] Miller William. Optimizing VR Game Performance Using Unreal Game Development. Medium. [Internet]. 9.5.2024. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://medium.com/@william.miller5612/optimizing-vr-game-performance-using-unreal-game-development-366fb2982b69>
- [47] VR Performance best practices. Google VR. [Internet]. 3.12.2018. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://developers.google.com/vr/develop/best-practices/perf-best-practices>
- [48] Roy Jayant. VR Best Practices for Game Development. Arm Community. [Internet]. 11.5.2021. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://community.arm.com/arm-community-blogs/b/graphics-gaming-and-vr-blog/posts/vr-best-practices-for-game-development>
- [49] Kaunela Kimmo. Creating immersive VR experiences Part 1. LinkedIn. [Internet]. 30.7.2023. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/pulse/creating-immersive-vr-experiences-part-1-kimmo-kaunela>
- [50] Pandey Vineet. Performance optimization techniques for VR apps. Medium. [Internet]. 19.5.2024. [viitattu 25.05.2024]. Saatavilla: <https://medium.com/@vineet14014pandey/performance-optimization-techniques-for-vr-apps-c74f79a582f2>
- [51] Berezovskyi Oleksandr. How to Optimize a Game: Video Game Optimization Best Practices for Console. Pingle Studio. [Internet]. 12.3.2024. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://pinglestudio.com/blog/porting/video-game-optimization-best-practices-for-console>

- [52] Thomas Krogh-Jacobsen. Expert tips on optimizing your game graphics for consoles. Unity Blog. [Internet]. 3.11.2021. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://blog.unity.com/games/expert-tips-on-optimizing-your-game-graphics-for-consoles>
- [53] Saviano Francesco. Understanding 3D Model Optimization: A Key to Enhanced Gaming Experience. ArtStation. [Internet]. 4.7.2023. [viitattu 04.04.2024]. Saatavilla: <https://www.artstation.com/blogs/francescos010/wV8L/understanding-3d-model-optimization-a-key-to-enhanced-gaming-experience>
- [54] 3D Model optimization: Everything you need to know. 3D-Ace. [Internet]. 23.2.2022. [viitattu 04.04.2024]. Saatavilla: <https://3d-ace.com/blog/3d-model-optimization/>
- [55] Garbett L. Samuel. How to Optimize 3D Models for Game Development. makeusof. [Internet]. 30.7.2023. [viitattu 04.04.2024]. Saatavilla: <https://www.makeuseof.com/optimize-3d-models-for-game-development-tips/>
- [56] What are some best practices for optimizing textures and materials for 3d models in immersive media?. LinkedIn. [Internet]. [viitattu 08.04.2024]. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/advice/0/what-some-best-practices-optimizing-textures>
- [57] Adobe Substance 3D. Create Trim Sheets in Substance 3D Painter - Part 1 | Adobe Substance 3D [Video]. Youtube 23.8.2022. [viitattu 06.04.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=dE4LWGMwypc>
- [58] Saqib Hussain. The Power of Trim Sheets and Texture Atlas Blender 2.8 [Video]. Youtube 14.3.2020. [viitattu 06.04.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=w-hsWRJUwsl>
- [59] FlippedNormals Marketplace. What are Trim Sheets? [Video]. Youtube 7.10.2020. [viitattu 06.04.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=uUJShalzWy8>
- [60] johnemerson. Trim Sheets. [Internet]. 2021. 3DReference. [viitattu 06.04.2024]. Saatavilla: <https://3dreference.notion.site/Trim-Sheets-e6e86d4155f845e3bb3ed6b04b0c6cab>
- [61] Bernardi Joe. Texture Atlasing: An Inside Look At Optimizing 3D Worlds!. Medium. [Internet]. 24.1.2018. [viitattu 08.04.2024]. Saatavilla: <https://medium.com/immersedteam/texture-atlasing-an-inside-look-at-optimizing-3d-worlds-8a07145856d7>
- [62] Rosen David. Using Texture Atlases. Game Developer. [Internet]. 26.3.2010. [viitattu 04.05.2024]. Saatavilla: <https://www.gamedeveloper.com/programming/using-texture-atlases>

- [63] Mipmapping. Arm Developer. [Internet]. [viitattu 04.05.2024]. Saatavilla: <https://developer.arm.com/documentation/102449/0200/Mipmapping>
- [64] Mipmaps introduction. Unity documentation. [Internet]. [viitattu 04.05.2024]. Saatavilla: <https://docs.unity3d.com/Manual/texture-mipmaps-introduction.html>
- [65] daviddg. Example 02.02: Texture filtering & MIP mapping. WordPress. [Valokuva]. 6.11.2015. [viitattu 02.04.2024]. Saatavilla: <https://david-degyter.wordpress.com/2015/11/06/example-02-02-texture-filtering-mip-mapping/>
- [66] Golub Andrew. Top 4 Unreal Engine Tools For Optimizing Game Development. pinglestudio. [Internet]. 12.3.2024. [viitattu 09.04.2024]. Saatavilla: <https://pinglestudio.com/blog/full-cycle-development/top-4-unreal-engine-tools-for-optimizing-game-development>
- [67] Ryan Laney. Unreal Engine 4 Tutorial - Level of Details (LODs) [Video]. Youtube 7.10.2020. [viitattu 09.04.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=iYpH9qGrb90>
- [68] Slover Clay. UE4: Optimization & Performance | Pt.2 – LODs. ArtStation. [Valokuva]. 26.2.2021. [viitattu 09.04.2024]. Saatavilla: <https://www.artstation.com/blogs/samslover/QwNE/ue4-optimization-performance-pt2-lods>
- [69] Mccole Chris. Culling in UE4/UE5 (Precomputed Visibility Volumes, and Cull Distance Volumes). ChrisMccole. [Internet]. 22.3.2023. [viitattu 09.04.2024]. Saatavilla: <https://www.chrismccole.com/blog/culling-in-ue4ue5>
- [70] Cull Distance Volume. Unreal Engine Docs. [Internet]. [viitattu 09.04.2024]. Saatavilla: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/RenderingAndGraphics/VisibilityCulling/CullDistanceVolume/>
- [71] Precomputed Visibility Volume. Unreal Engine Docs. [Internet]. [viitattu 04.05.2024]. Saatavilla: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/RenderingAndGraphics/VisibilityCulling/PrecomputedVisibilityVolume/>
- [72] UNREAL ENGINE GAME OPTIMIZATION. Argentics. [Internet]. [viitattu 10.04.2024]. Saatavilla: <https://www.argentics.io/unreal-engine-game-optimization>
- [73] Simplifying Static Meshes by Defeaturing. Unreal Engine Docs. [Internet]. [viitattu 10.04.2024]. Saatavilla: <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/WorkingWithContent/Types/StaticMeshes/HowTo/Defeaturing/>

[74] Proxy Geometry Overview. Unreal Engine Docs. [Internet]. [viitattu 10.04.2024]. Saatavilla: <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/TestingAndOptimization/ProxyGeoTool/ProxyGeoOverview/>

[75] Using the Proxy Geometry Tool. Unreal Engine Docs. [Valokuva]. [viitattu 10.04.2024]. Saatavilla: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/TestingAndOptimization/ProxyGeoTool/UsingProxyGeoTool/>