

Valaistus pelimaailmoissa

Miranna Karppanen

Luonnontieteiden ala
Tradenomi
Kevät 2016
Opinnäytetyö



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Karppanen Miranna

Työn nimi: Valaistus pelimaailmoissa

Tutkintonimike: Tradenomi, tietojenkäsittely

Asiasanat: valaistus, pelit, pelimaailma, 3D-mallinnus, ympäristö

Valaistuksella on iso vaikutus ja rooli niin oikeassa elämässä kuin taiteessa, pelimaailmoissa ja elokuvissa. Tässä opinnäytetyössä perehdytään tarkemmin valaistukseen ja valoon, minkälaisia ominaisuuksia sillä on ja mikä sen tehtävä on ympäristössä. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi valon väri, vahvuus ja kirkkaus. Työssä pyrittiin tutustumaan enemmän valaistuksen taiteelliseen puoleen, jättäen asiaan liittyvät tekniset asiat vähemmälle.

Lisäksi käydään läpi erityisesti peleissä käytettävän valaistuksen piirteitä, sen tehtäviä, ja hieman siihen liittyviä teknisiä asioita kuten optimointia. Työssä pohditaan valaisemisen kehitystä, tulevaisuutta ja lisäksi miten valaistus voi vaikuttaa pelaajaan. Tämän jälkeen esitellään muutama nykyajan peli, joissa valaistus on toteutettu onnistuneesti. Itse valaisuprosessiin liittyen tarkastellaan esimerkiksi erilaisia lampputyyppejä, kolmen valon tekniikkaa ja väriharmoniaa.

Opinnäytetyön puitteissa mallinnettiin kesämökin sisätila ja suunniteltiin siihen kaksi erilaista valaistusta Unity-pelimoottorissa. Tavoitteena oli tutustua paremmin Unityn valaistustyökaluihin ja kokeilla sisätilassa kahta eri valaistusta, lämmintä ja kylmää. Vaikka suurin ero näissä valaistuksissa oli vain valon väreissä, erosivat lopputulokset kuitenkin huomattavasti.

ABSTRACT

Author: Karppanen Miranna

Title of the Publication: Lighting in video game worlds

Degree Title: Bachelor of Information Technologies

Keywords: lighting, video games, 3D modelling, environment, global illumination

Lighting has a great impact in real life as well as in arts, video game worlds and movies. This thesis concentrates on the illumination and light, primarily what kind of qualities and functions it has in sceneries. These qualities are, for example, color, brightness and softness. The main focus in this thesis is the artistic view of the lighting design, while paying less attention to its technical side.

Furthermore, the thesis will look into the special traits of the video game lighting, its role and a few things of the technical side of illuminating such as optimization. The thesis will think over the lighting's improvements over the past decade, its future and also how it effects players' performance. After this couple modern day video games with interesting lighting decisions are presented. About the actual lighting process things like different light types, three-point lighting and color harmony are explained.

In the practical section of thesis, the summer cottage was modelled and two different lighting setups were made in Unity game engine. The goal was to get to know Unity's lighting tools and try two different interior lightings, warm and cold mood. Although the biggest differences in these lightings were only the light's colors, the results ended up remarkably different.

1 JOHDANTO	1
2 VALO JA VALAISTUS	2
2.1 VALAISTUKSEN OMINAISUUKSIA.....	2
2.2 SUORA JA EPÄSUORA VALO	4
2.3 VÄRIT	5
2.4 VALAISTUKSEN TARKOITUS	6
2.4.1 LUETTAVUUS	6
2.4.2 JATKUVUUS	6
2.4.3 TUNNELMA	7
3 VALAISTUS PELEISSÄ.....	8
3.1 VALAISTUKSEN KEHITYS.....	8
3.2 VALAISTUKSEN TULEVAISUUS	9
3.3 GLOBAL ILLUMINATION	9
3.4 VALOJEN OPTIMOINTI.....	10
3.5 POST-PROCESSING.....	12
3.6 VALO OSANA PELIMEKANIikka	14
3.7 VALAISTUKSEN VAIKUTUS PELAAJAAN	15
3.8 ESIMERKKEJÄ PELEISTÄ	16
4 VALAISEMINEN	19
4.1 LAMPPUTYYPIT	19
4.2 KOLMEN VALON TEKNIikka	20
4.3 VALONLÄHTEET.....	21
4.4 VÄRIHARMONIA	22
4.5 KENTTÄSUUNNITTELU	24
4.6 REALISTISUUS	25
5 CASE: TUVAN VALAISU	26
5.1 TAVOITE.....	26

5.2 SUUNNITTELU	26
5.3 TOTEUTUS.....	28
5.4 TULOS	34
5.5 ANALYSOINTI	36
6 YHTEENVETO.....	38
LÄHTEET	39

SYMBOLILUETTELO

Antialiasing	Jälkikäsittelyefekti, joka pehmentää 3D-mallien reunoja.
Bloom	Suosittu jälkikäsittelyefekti, joka luo hehkua ympäristöön valonlähteen ympärille.
CMYK	Väritila, jota käytetään painotuotteissa. Tässä värit muodostuvat neljästä eri painoväristä: syaanista, magentasta, keltaisesta ja mustasta.
First person	Kun kamera sijaitsee pelaajan/hahmon silmien kohdalla, ikään kuin katsoisit peliä hahmon silmin.
Gameplay	Määrittää, kuinka pelaaja voi vuorovaikuttaa pelin kanssa.
Global Illumination, GI	Yleinen nimitys 3D-grafiikassa tekniikalle, jonka tarkoitus on simuloida realistista valaistusta, erityisesti epäsuoraa valoa.
Immersio	Englanniksi <i>to immerse</i> , termi jota käytetään kuvaamaan pelaajan uppoutumista virtuaaliodellisuuteen.
Light probe	Piste, johon tallennetaan tietoa ympäristön valaistuksesta. Tätä informaatiota käytetään sitten liikkuvien kohteiden valaisemiseen.
Pelimoottori	Ohjelmistokehys, jonka päälle peli luodaan.
Post-processing	Suomeksi jälkikäsittely. Työhön loppuvaiheessa lisättäviä efektejä, jotka liittyvät esimerkiksi värien tai valojen säätöön.
Real-time	Ajantasainen.
Resoluutio	Kertoo, kuinka monta kuvapistettä eli pikseliä tiettyyn pituusyksikköön mahtuu. Mitä enemmän pikseleitä, sitä yksityiskohtaisempi kuva on.

Ray tracing	Suomeksi säteenseuranta. Tekniikka, jonka avulla kuva luodaan jäljittelemällä valonsäteiden kulkua.
Render, renderointi	Kuvan tuottaminen ruudulle.
RGB	Väritila, jota käytetään näyttölaitteissa. Värit syntyvät sekoittamalla punaista, vihreää ja sinistä valoa.
Sun shafts	Jälkikäsitteilyefekti, joka tuottaa silmillä erotettavia valonsäteitä.
Tekstuuri	2D-kuva, joka antaa 3D-mallille väriä ja muotoa.
Texel	Tulee sanoista texture pixels eli tekstuuri pikselit. 3D-mallien tekstuurit muodostuvat texeleistä.
UV-kartat	2D-kuva 3D-mallista, jossa malli on ikään kuin leiketty ja levitetty auki kaksiulotteiselle pinnalle.

Valaistussuunnittelua on sanottu erityiseksi tieteen ja taiteen lajiksi. Tieteeksi siksi, koska siihen liittyy paljon teknisiä asioita, mutta se vaatii myös esteettistä silmää miellyttävän valaistuksen saavuttamiseksi. (Ginther, 2004.)

Valaistuksessa olennaisinta on tehdä ympäristö luettavaksi, emmehän ilman sitä edes näkisi mitään. Mutta valoa voi käyttää muutenkin kuin helpottamaan ympäristön luettavuutta. Valon avulla voi ohjata, korostaa ja luoda erilaisia tunnelmia. Siksi se on tärkeä osa esimerkiksi sisustuksessa, lavastuksessa ja kuvakerronnassa. Valo on usein se viimeinen tekijä, joka sitoo kaiken tilassa yhteen ja tukee ympäristön tunnelmaa.

Valaistuksella on merkittävä rooli peleissä, vaikka usein katsoja ei siihen edes kiinnitä huomiota. Valon rooli pelimaailmoissa on kasvanut koko ajan suuremmaksi, kun pelimaailmojen mahdollisuudet ovat kasvaneet viimeisen viidentoista, kahdenkymmenen vuoden aikana. Tekniset rajoitukset ovat löyhentyneet kiitos nopeasti kehittyvien laitteistojen ja ne eivät enää rajoita pelin grafiikkaa niin paljon kuin ennen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on esitellä valaistuksen moninaisia piirteitä ja nostaa esiin aiheita, joita on hyvä pohtia valaistessa omaa ympäristöään. Työn tavoitteena on inspiroida lukijaa panostamaan ja paneutumaan valaisemisen monimuotoiseen maailmaan.

Ennen kuin voi alkaa tarkastelemaan valaistusta ja sen piirteitä, on hyvä ymmärtää valon kolme oleellista fysikaalista ilmiötä. Valo säteilee auringosta tai jostain muusta lähteestä ja se on vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa, jolloin osa valosta imeytyy ja osa hajaantuu ja levittäytyy muualle. Lopulta valo nähdään jonkun sensorin kautta, oli se sitten ihmissilmä tai kamera. Näitä kolmea eri ominaisuutta yritämme tutkia ja simuloida digitaalisesti. (Akenine-Möller, Haines & Hoffman 2008, 99–100.)

2.1 VALAISTUKSEN OMINAISUUKSIA

Valolla on erilaisia ominaisuuksia, jotka auttavat meitä hahmottamaan, millainen valo on kyseessä ja onko valo peräisin vaikkapa kynttilästä tai loisteputkesta. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi valon väriämpötila, kirkkaus, vahvuus ja kulma. (Birn, 2014, 6.)

Valon väriämpötila voidaan ilmoittaa kelvineinä, joka kertoo valonlähteen tuottaman valon värin. 5500 kelviniä on valonormi, joka tuottaa valkoista valoa. Korkeammilla arvoilla valo alkaa muuttua sinisemmäksi ja matalammilla keltaisen kautta oranssiksi. (Kuva 1.) Esimerkiksi hehkulampun kellertävä valo on noin 3000K. Valon väriin vaikuttaa myös ympäröivä tila, sillä väri kimpoaa valon avulla pinnalta toiselle. (Rihlana, 1999, 9.)

Kuva 1. Väriämpötiloja ja niiden tuottamia valon värejä.



1800K 4000K 5500K 8000K 1200K 1600K

Valon vahvuus tai valon laatu kuvaa, kuinka pehmeää tai kovaa valo on. Se on riippuvainen siitä, kuinka hajanainen valo on ja kuinka lähellä valon lähde on. Pehmeä valaistus luo epätarkkoja ja pehmeäreunaisia varjoja, kun taas kovasta valosta syntyy teräväreunaisia ja tarkkoja varjoja. (Nulph, 2000.)

Asetettaessa valoja on hyvä ottaa huomioon valon *kulma*. Se kertoo, mistä päin valo tulee ja vaikuttaa varjojen pituuteen. Kun aurinko on keskipäivällä paljon ylempänä kuin aamulla, valon kulmakin on tällöin suurempi ja varjot ovat taas ovat lyhyempiä. (Birn, 2014, 6.)

Valon *kirkkaus* vaikuttaa valaistuksen kontrastiin. Kirkkaat valot luovat tummia varjoja, ja näin ollen erotus varjon ja valon välillä on suuri. Kirkkaita valoja käyteään tyypillisesti dramaattisissa kohtauksissa. Tällaiselle selkeälle valon ja varjon erolle on maalaustaiteessa olemassa termi: *chiaroscuro* eli valohämy. Se on italiaa ja tarkoittaa valoa ja varjoa. (Seif El-Nasr ym, 2007.) Yksi kuuluisimmista *chiaroscuro*a käyttävä taiteilija oli Caravaggio, italialainen taidemaalari. Vahvat varjot luovat kolmiulotteisuuden tuntua ja valaistus on barokkilaiseen tyyliin hyvin dramaattinen. (Kuva 2.)

Kuva 2. Caravaggion *Salome Johannes Kastajan pää käsissään* (Wikipedia).



2.2 SUORA JA EPÄSUORA VALO

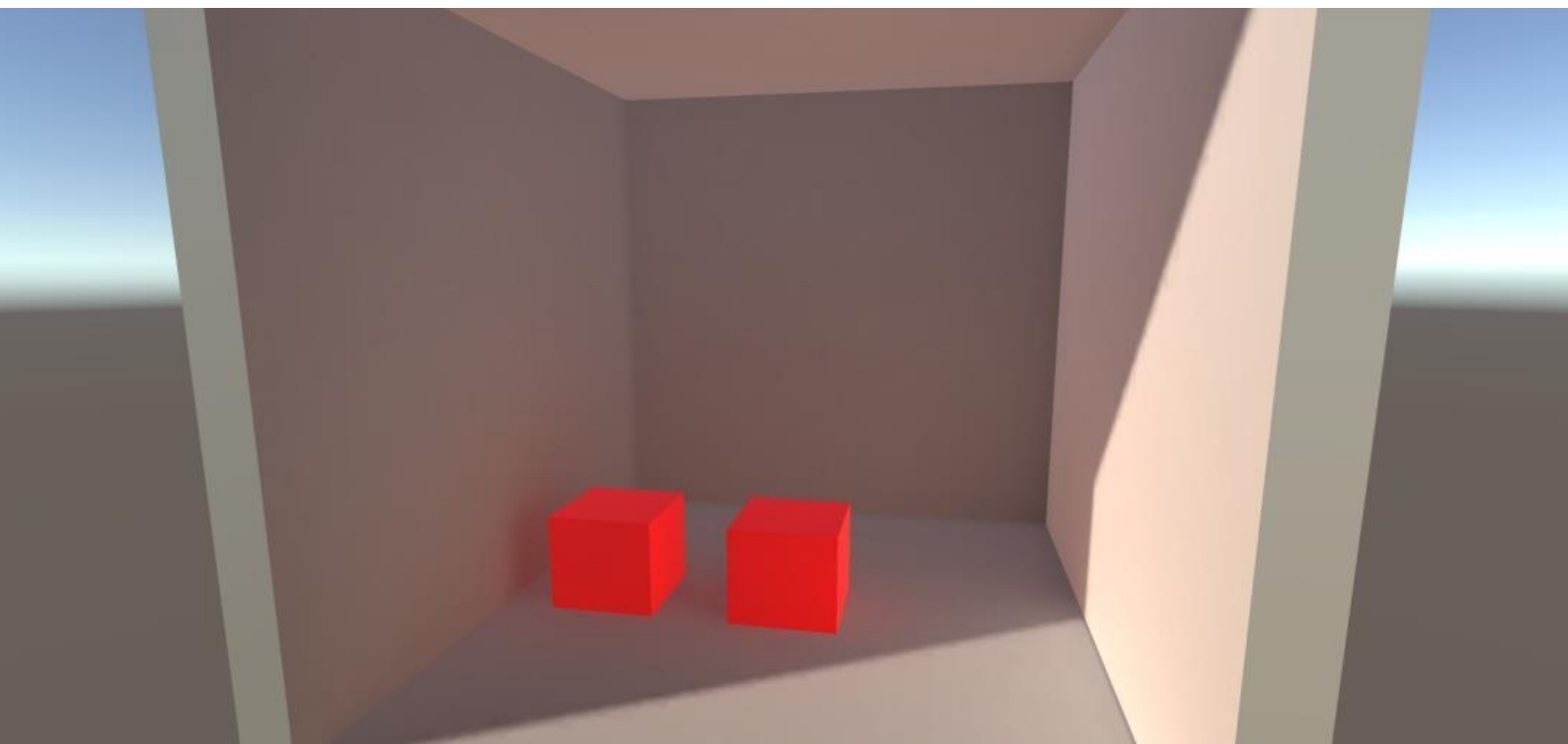
Suora valo tulee suoraan kohteeseen valon lähteestä, esimerkiksi lampusta tai auringosta. Epäsuora valo syntyy, kun valo heijastuu tai kimpoaa vähintään kerran yhden pinnan kautta ja siten epäsuorasti valaisee kohteita. (Birn 2014.)

Kun epäsuora valo kimpoaa pinnalta, kuljettaa se mukanaan kyseisen pinnan väriä. Jos kokonaan valkoisessa huoneessa on sininen pallo, pallosta heijastuu sinistä valoa valkoisiin pintoihin. Jokainen asia heijastaa siis omaa valoaan ympäristöön ja lisää tilan valaistusta. (Birn 2014.)

Suora valo toimii valaistuksessa pääasiallisena valon lähteenä, kuten vaikkapa aurinko. Epäsuoraa valoa tarvitaan kuitenkin valaisemaan pehmeästi varjon puolelle jäävä ympäristö. Ilman sitä valoa varjon puolelle jääneet sivut olisivat kokonaan mustia. Tätä kimpoilevaa epäsuoraa valoa on kuitenkin paljon vaikeampi simuloida 3D-ympäristössä, ja usein sitä varten pitää asetella uusia, himmeämpiä valoja tai käyttää tekniikkaa *global illumination*, johon perehdytään tarkemmin myöhemmin. (Birn 2014.)

Kuvassa 3 on yksinkertainen esimerkki GI:n toiminnasta Unity-pelimoottorissa. Valkoisissa seinissä on nähtävissä häivähdys kuutioista lähtevästä punaisesta väristä ja myös varjoihin tulee hieman valoa ympäristöstä. Ilman GI:tä ne jäisivät kokonaan mustiksi.

Kuva 3. GI:n toimintaa Unity-pelimoottorissa.



2.3 VÄRIT

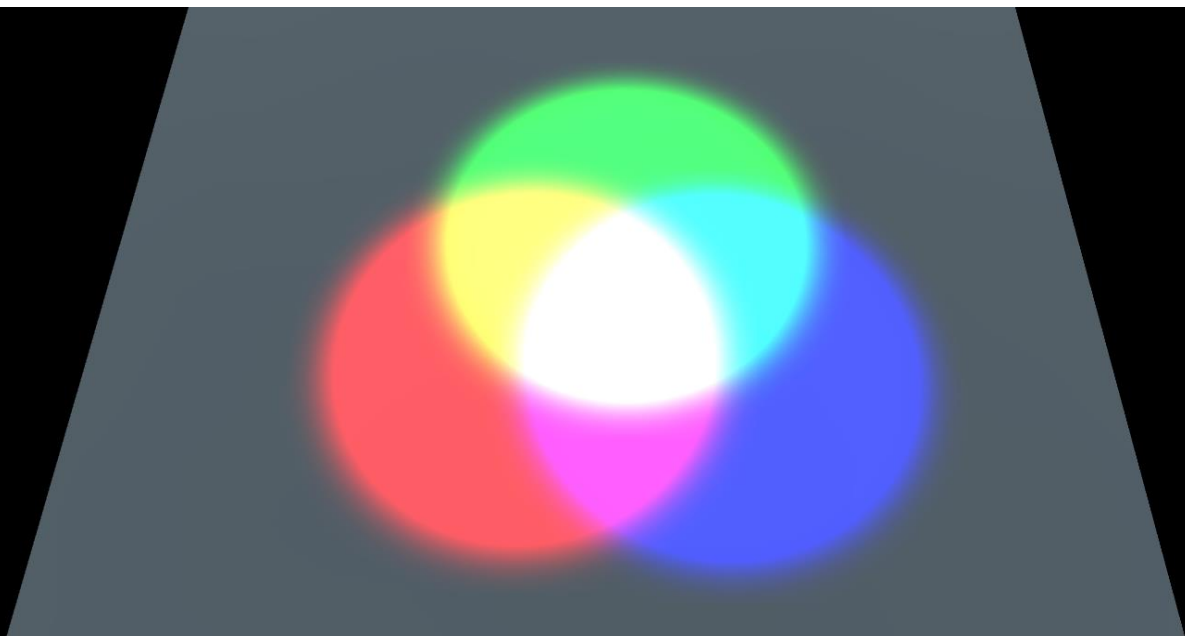
Valo on harvoin täysin valkoista. Aiemmin mainittu valkoinen valonormi, 5500 kelviniä, vastaa luonnossa pilvettömältä taivaalta tulevaa suoraa, kirkasta päivänvaloa. Muut valonlähteet tuottavat värillistä valoa tai kimpoavat ympäristöstä heijastaen pinnan värejä, jolloin itse valo näyttää värilliseltä. (Moddb, 2006.)

Värit toimivat hieman eri tavalla valoissa kuin mitä normaalisti esimerkiksi maalatessa on totuttu käyttämään. Painotuotteet, maalit, kynät ja muut vastaavat käyttävät CMY-väritilaa. CMY-väritilassa värit muodostuvat pääväreistä: punaisesta, keltaisesta ja sinisestä. Valot ja näytöt taas käyttävät RGB-väritilaa, jossa värit muodostuvat punaisesta, sinisestä ja vihreästä. (Moddb, 2006.)

Suurin ero CMY:n ja RGB:n välillä on se, kuinka värit sekoittuvat keskenään. CMY:n värejä sekoittaessa päädytään lopulta ruskeaan, kun taas RGB:n väreistä syntyy valkoista (kuva 4). Tämän takia maalauksessa toimivat värisekoitukset eivät toimi samalla tavalla valaistuksessa. (Moddb, 2006.)

Valaistuksessa värivalikoima on suppeampi, sillä tummia sävyjä ei ole olemassa. Valo ei voi olla tumman sininen tai punainen, mutta värin kylläisyyttä voi säätää. Jäljelle jäävistä väreistä pinkkiä ja violettia käytetään harvoin, sillä ne harvoin sopivat ympäristöön tai näyttävät epärealistisilta. Väripalettiin jäävät vain punaisen, oranssin, keltaisen, sinisen ja sinivihreän sävyt. (Moddb, 2006.)

Kuva 4. Kolme värillistä spottivaloa päällekkäin Unity-pelimoottorissa.



2.4 VALAISTUKSEN TARKOITUS

2.4.1 LUETTAVUUS

Valon ensisijainen tarkoitus on helpottaa ympäristön luettavuutta ja antaa ympäristöön kolmiulotteisen tunteen. Valon avulla ohjataan katsojan huomiota oleellisiin asioihin. Näin katsoja pystyy lukemaan ja ymmärtämään tapahtumia, vaikka ympäristö olisi täynnä hahmoja ja tavaroita. (Rangaswamy, 2000.)

Valaistessa on siis hyvä pohtia, mihin haluaa katsojan huomion kiinnittää. Pahimmassa tapauksessa huonosti sijoitellut valot voivat myös kiinnittää katsojan huomion epäoleellisiin asioihin. Outo vilkkuminen tai häiriöt valoissa varastavat huomion oleellisesta ja tarinan seuraaminen kärsii. (Birn, 2014, 19.)

2.4.2 JATKUVUUS

Tarinan ja luettavuuden kannalta jatkuvuus on tärkeää valaistuksessaakin. Loogisissa jatkumoissa kannattaa säilyttää samankaltainen valaistus, kun ympäristöt ja kellonaika ovat samoja. Esimerkiksi pihalta toiselle siirtyessä valon pitäisi pysyä samanlaisena, ellei valon vaihtumiselle ole jokin järkevä selitys, kuten sään vaihtuminen tai ajan kuluminen. (Rangaswamy, 2000.)

Jatkuvuus ja saumattomuus ovat erityisen tärkeää silloin, kun valaistuksen kanssa työskentelee useita ihmisiä. Tällöin on tärkeää varmistaa, että eri ihmisten tekemät valaisut käyvät yhteen ja samoissa ympäristöissä valaistus pysyy samanlaisena. (Birn, 2014, 19.)

2.4.3 TUNNELMA

Valon ehkäpä tärkein rooli on tunnelman luominen. Kaikki aikaisemmin mainitut ominaisuudet, kuten kirkkaus, värit ja varjot, vaikuttavat miljöön tunnelmaan. Valojen tarkoitus on tehostaa haluttua tunnelmaa, oli se sitten rauhallinen, jännittävä tai pelottava. (Birn, 2014, 13.)

Tasaisesti valaistu kohta, jossa ei ole jyrkkää kontrastia valon ja varjon välillä, koetaan rauhalliseksi ja iloiseksi. Mitä pimeämmäksi ja suuremmaksi kontrasti valon ja varjon välillä kasvaa, sitä levottomammaksi ja vaarallisemman tuntuiseksi miljöö muuttuu. (Rangaswamy, 2000.) Vuonna 2015 ilmestyi selviytymiskauhupeli *Until Dawn*, joka onnistuneesti käytti valaistusta tukemaan pelin tyyliä ja edesauttaa pelottavaa tunnelmaa. (Kuva 3.)

Kuva 3. Until Dawn (Nabi, 2015).

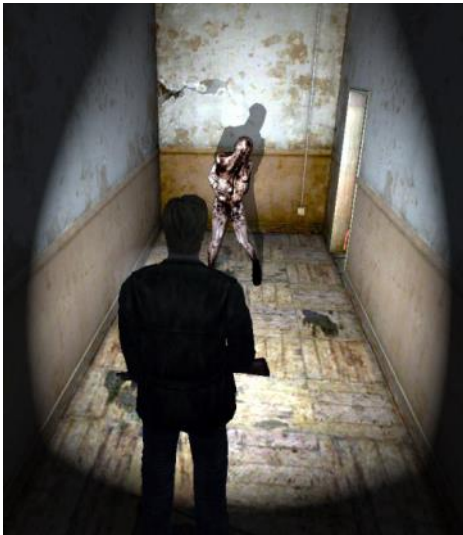


3 VALAISTUS PELEISSÄ



Pelien ja elokuvien valaistuksessa on paljon yhtäläisyyksiä, ja monia elokuva-alan oppeja voi soveltaa peleihin. Suurin ero pelien ja elokuvan välillä on interaktiivisuus ja dynaamiset ympäristöt, jotka pitää ottaa huomioon valoja suunniteltaessa. Tämä erottaa pelien valaistussuunnittelun muista medioista. (Seif El-Nasr ym, 2007.)

3.1 VALAISTUKSEN KEHITYS



Peliala on vielä suhteellisen nuori, ja itse valaistukseen on alettu kiinnittämään huomiota entistä enemmän viimeisen viiden vuoden aikana, kun laitteisto ja pelimoottorit eivät enää rajoita valaistusvaihtoehtoja. (De Jong, 2006.)

Aikaisemmin valot olivat staattisia, ja ne kiinnitettiin suoraan ympäristön tekstuureihin. Tämä menetelmä on englanniksi *baking lightmaps*. Tuloksena syntyy lightmap eli valokartta, joka sisältää valaistusinformaatiota 3D-objekteista, kuten mikä puoli esineestä on valossa ja mikä varjossa. Valokartat säästävät tärkeää render-aikaa, ja itse lamput voi poistaa, kun valo on kiinnitetty ympäristöön. Tällaiset staattiset valot eivät kuitenkaan vaikuttaneet liikkuviin kohteisiin, kuten pelaajaan. (Masters, 2014b.)



Nykylaitteisto mahdollistaa realistisen, dynaamisen suoran valon tuottamisen. Sen avulla pystytään simuloimaan todentuntuista valon säteiden ja ympäristön vuorovaikutusta, ja myös liikkuvat kohteet vaikuttavat valaistukseen. Kävellessään katu-lampun alla hahmosta lankeaa varjo maahan ja pelaajan kädessä oleva soihdun valo osuu kiiltävään metalliin. Varjotkin pelaajan alla ovat muuttuneet pelkistä tummista palloista teräväreunaisiin ja siitä pehmeisiin, realistisempiin varjoihin. (Kuva 4.) (Stuart, 2015.)

Kuva 4. Varjojen kehitys vuosien varrella (Myers, 2014; Gamespot a; Gamespot b;).

3.2 VALAISTUKSEN TULEVAISUUS

Vaikka valaistuksen kehitys pelialalla on edennyt hurjasti viimeisen vuosikymmenen ajan, ajantasainen, realistinen epäsuoran valon simulointi ei vielä ole mahdollista. Ongelmana on juuri *real-time rendering* eli kuvan tuottaminen ajantasaisesti. Henrik Wann Jensen kertoi Tom's Guiden haastattelussa, että valon fotorealistisen simuloinnin, esimerkiksi valon kimpoaminen lasin tai veden läpi, saavuttamisessa kestää vielä yli kymmenen vuotta ennen kuin voimme saavuttaa fotorealistisuuden. (Scharr, 2013.)

3.3 GLOBAL ILLUMINATION

Kun pyritään kohti realistisempaa epäsuoran valon simulointia, on kehitetty tekniikka nimeltään *global illumination*. (GI) Sen tarkoituksena on simuloida epäsuoraa, kimpoilevaa valoa ja värien heijastumista toisille pinnoille ympäristössä. Global illumination lisää pelin realismia ja on tärkeä osa tunnelman välittämisessä. (Mortensen, 2014.)

Erilaisia GI-menetelmiä on olemassa useita, mutta vanhin ja yksi yleisimmistä menetelmistä on *ray tracing*. Ray tracing on algoritmi, joka laskee ajantasaisesti valon säteiden sijainnin, kun ne matkustavat ympäristössä ja kimpoavat kohteista. Sitä käytetään yleisesti elokuvien teossa, mutta se on ainakin vielä tällä hetkellä liian raskas ja hidas käyttäväksi peleissä. (Scharr, 2013.) Tämän takia ray tracingin ohelle on kehittynyt useita menetelmiä GI:n saavuttamiseksi. Esimerkiksi Unity 5 käyttää ajantasaisen GI:n luomisessa Enlighten-nimistä työkalua. (Mortensen, 2014.)



Kuva 5. Yksi päivä *Witcher 3* -pelissä
(PC Games Hardware, 2015).

GI:n kehitys on ottanut harppauksia ja sitä käytetään jo paljon peleissäkin, mutta vielä se ei ole tarpeeksi kevyt massiivisiin, avoimen maailman peleihin. Tänä päivänä nämä avoimen maailman pelit ovat yhä suosittumia, mutta ne tuovat omat haasteensa myös valaistukseen. Näissä peleissä nähdään usein päivän ja yön vaihtelut, joten valaistuksen pitää muuttua näiden mukaan. Viime vuonna ilmestyneessä *The Witcher 3* -pelissä kaikki valot ovat dynaamisia. Pelin maailma on massiivinen ja valaistus vaihtelee jatkuvasti kellon ajan ja sään mukaan, joten GI:n käyttö olisi tullut liian raskaaksi laitteistolle. Kuva 5 havainnollistaa valaistuksen suurta vaihtelua yhden päivän aikana *Witcher 3* -pelissä. (Nelva, 2015.)

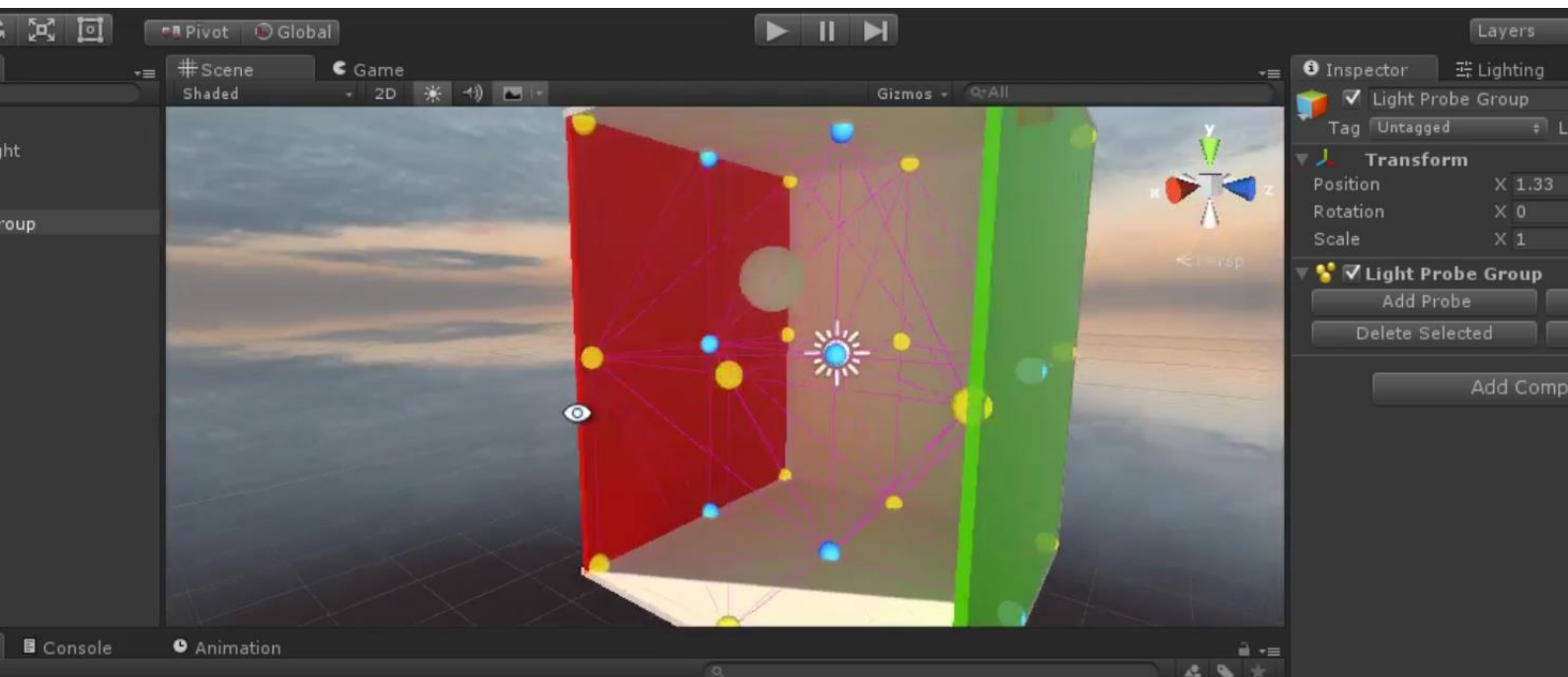
3.4 VALOJEN OPTIMOINTI

Pelien valaistuksessa optimointi on elintärkeä osa suunnittelua. Valaistus voi nopeasti viedä kaikki tehot tietokoneesta, jos valoja asettelee huolimattomasti. Optimoinnissa pitää ottaa huomioon pelimoottorin rajoitukset ja mihin pelin alustan laitteisto kykenee. Mobiilipeleissä valaistusmahdollisuudet ovat huomattavasti rajoittuneemmat kuin tietokonepeleissä, koska mobiililla laitteiston tehot ovat pienemmät. Valojen optimoinnissa tärkeimpänä on tasapainoilla suorituskyvyn ja laadun välillä. (Kinney, 2015.)

Olennaisinta on määritellä, mitkä valot ovat staattisia, mitkä dynaamisia ja mitkä valot pitää olla ajantasaisia. Staattinen valo pysyy koko ajan samanlaisena, sen kirkkaus tai kulma ei koskaan muutu eikä pelaaja pysty tekemään sille mitään. Nämä valot ovat kevyitä, koska koneen tarvitsee laskea ne vain kerran. Dynaamiset valot voivat taas muuttua pelin aikana, esimerkiksi sammua tai syttyä. Koneen pitää pelin aikana laskea niitä koko ajan uudestaan, mikäli valo muuttuu. Kaikkein raskain on ajantasainen, real-time-valaistus. Siinä valaistus voi muuttua samalla tavalla kuin dynaamisessa valossa, ja lisäksi se reagoi ympäristön liikkuviin tekijöihin. Jos katossa on edestakaisin heiluva kattolamppu, joka on toteutettu ajantasaisesti, maassa olevien tavaroiden varjot kasvavat ja pienenevät kattolampun liikkeen mukaan. (Byrne 2004, 260–261.)

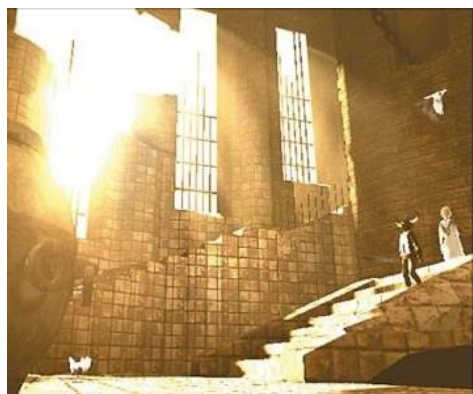
Monet pelit sekoittavat staattisia, dynaamisia ja ajantasaisia valoja pitääkseen pelin suorituskyvyn korkealla. Mitä enemmän käytetään staattisia valoja ja valokarttoja, sitä kevyempi valaistus on. Ongelmana kiinnitetyissä valoissa on se, etteivät ne vaikuta liikkuviin kohteisiin, kuten pelaajaan. Tällöin on kuitenkin mahdollista lisätä ympäristöön eräänlaisia pisteitä, englanniksi *light probe*, jotka varastoivat valaistusinformaatiota itseensä. Kun liikkuva kohde tulee light probeen kohdalle, se valaistaa siihen varastoidun informaation mukaan. Kuvassa 6 on laatikon sisällä pallo, joka liikkuu edestakaisin. Sen valaisua varten on aseteltu laatikon sisälle light probeja, jotka näkyvät keltaisina palloina. (Kinney, 2015.)

Kuva 6. Light probeja Unityssä (Kinney, 2015).



3.5 POST-PROCESSING

Post-processing eli jälkikäsittelyefektit tehostavat pelien valaistuksia ja simuloivat oikean elämän valoilmioita ja kameraefektejä. Yleisimpiä valoon liittyviä tehosteita ovat bloom, linssiheijastukset ja automaattinen valotus. Peleissä nämä jälkikäsittelytehosteet liitetään kiinni pelin kameraan. (Unreal Developer Network, 2012.)



Kuva 7. Ico (Mielke, 2005).

Bloom, vapaasti suomennettuna hehku, perustuu oikean elämän valoilmioon. Tämän "hehkumisen" pystyy näkemään paljaalla silmällä, kun katsoo hyvin kirkasta esinettä tummaa taustaa vasten. (Unreal Engine Documentation, 2015a.) Vuonna 2001 Ico oli yksi ensimmäisiä pelejä, jotka käyttivät tätä hehkuefektiä. (Kuva 7.) Myöhemmin siitä on tullut yksi yleisimmistä jälkikäsittelyefekteistä. (Mielke, 2005.) Bloomin yleisyydessä myös efektin ylilyönnit lisääntyvät, kuten vuonna 2012 ilmestyneessä Syndicate-pelissä. Bloomia kannattaa siis käyttää harkitusti, ettei ruutu muutu kokonaan hehkuvaksi, kirkkaaksi valoksi. (Kuva 8) (Houghton, 2015.)

Automaattinen valotus, jota kutsutaan myös silmän adaptoitumiseksi, automaattisesti säättää ympäristön valaistusta. Efekti jäljittelee ihmissilmän toimintaa, kuinka se sopeutuu valoon siirryttäessä pimeästä ympäristöstä kirkkaaseen ympäristöön. (Unreal Engine Documentation, 2015b.) Peleissä efektiä näkee esimerkiksi silloin, kun pelaaja siirtyy talon tai luolan sisältä ulkoilmaan.

Kuva 8. Syndicate (Houghton, 2015).





Kuva 9. Valonsäteitä Firewatch-pelissä (Campo Santo, 2016).

Valonsäteiden simulointi on myös suosittu efekti. Kuvassa 9 näkyy kuinka pelissä Firewatch auringon säteet lankeavat puiden oksien lävitse. (Kuva 10.) Oikeassa elämässä valonsäteet syntyvät, kun valo kulkee pölyn, sumun, savun tai jonkun muun kaasun läpi. Riippuen ohjelmasta, efektiä kutsutaan englanniksi *sun shafts*, *god ray* tai *volumetric light*. (Tweak3D, 2002.)



Kuva 10. Sun shafts -efekti Unityssä (Unity Documentation, 2016).

Samankaltaisen efektin tuottamiseen peleissä on monta erilaista tekniikkaa. Vanhempi menetelmä on konkreettisesti mallintaa valonsäde ja asetella se sitten ympäristöön. Tämä tapa on suorituskyvyn kannalta kevyt, mutta usein valonsäde näyttää hyvältä vain tietystä kulmasta katsottuna. Myöhemmin on kehitetty monipuolisempia tapoja jäljitellä valonsäteitä, kuten Unityssä kameraan liitettävä auringon säteitä imitoiva efekti. (Kuva 10.) (Unity Documentation, 2016.)

3.6 VALO OSANA PELIMEKANIIKKAA

Valoa voi myös käyttää osana pelimekaniikkaa. Valoilla ja varjoilla on iso rooli esimerkiksi hiiviskelypeleissä, joissa valoa vältellään ja varjoja käytetään piiloutumiseen. Pelisarjassa Thief varjoissa hiiviskellään, vältellään vihollisia ja niiden turvassa voi miettiä seuraavaa siirtoaan. Valo vaikuttaa siis hyvin konkreettisesti pelaajan käyttäytymiseen ja hänen valintoihinsa.

Vuonna 2010 ilmestynyt Alan Wake –peli vei valon roolin vieläkin pidemmälle ja teki siitä aseensa vihollisia vastaan. (Kuva 11.) Pelissä tavalliset aseet eivät toimi vihollisiin, ellei niitä ensin valaise taskulampun avulla. Valon polttaessa vihollista se muuttuu haavoittuvaiseksi, jonka jälkeen pelaaja pystyy ampumaan sen tavallisella aseella. Tärkeän taskulampun lisäksi katulamput toimivat suojapaikkana, jolloin valo parantaa pelaajaa ja viholliset eivät pääse iskemään valon alle. Alan Wake asetti valon suureen rooliin ja antoi pelaajalle voiman käyttää valoa, sillä ilman sitä pelissä ei selvinnyt.

Kuva 11. Alan Wake
(Technobuffalo, 2013).



3.7 VALAISTUKSEN VAIKUTUS PELAAJAAN

Valaistuksella on suuri vaikutus peliin ja siihen, kuinka pelaajat pelin vastaanottavat. Isommissa pelifirmoissa on erikseen artistit, jotka työskentelevät pelkästään valojen kanssa ja varmistavat valaistuksen laadun. Juuri valaistus voi usein olla erottava tekijä kelvollisen ja upean pelin välillä. (Prall, 2012.)

Valolla voi vaikuttaa pelaajan käyttäytymiseen. Usein sillä ohjataan pelaajaa kulkemaan tiettyyn suuntaan esimerkiksi korostamalla uloskäyntiä ja kuljettavia polkuja. Valo voi myös varoittaa vihollisista tai korostaa pelaajalle merkittävää kohdetta, kuten poimittavaa esinettä. Useat pelaajista eivät etsi muita vaihtoehtoisia polkuja löydettyään valaistun polun. Valolla pyritään siis ohjailemaan pelaajaa hienovaraisesti ja vaikuttamaan suoraan alitajuntaan. Sen sijaan, että käskettäisiin pelaajaa sanallisesti käyttöliittymässä menemään haluttuun paikkaan, voidaan sinne menevä polku valaista ja näin ohjata pelaaja oikeaan suuntaan. (Brownmiller, 2012; Jenssen, 2012; Gillen, 2007.)

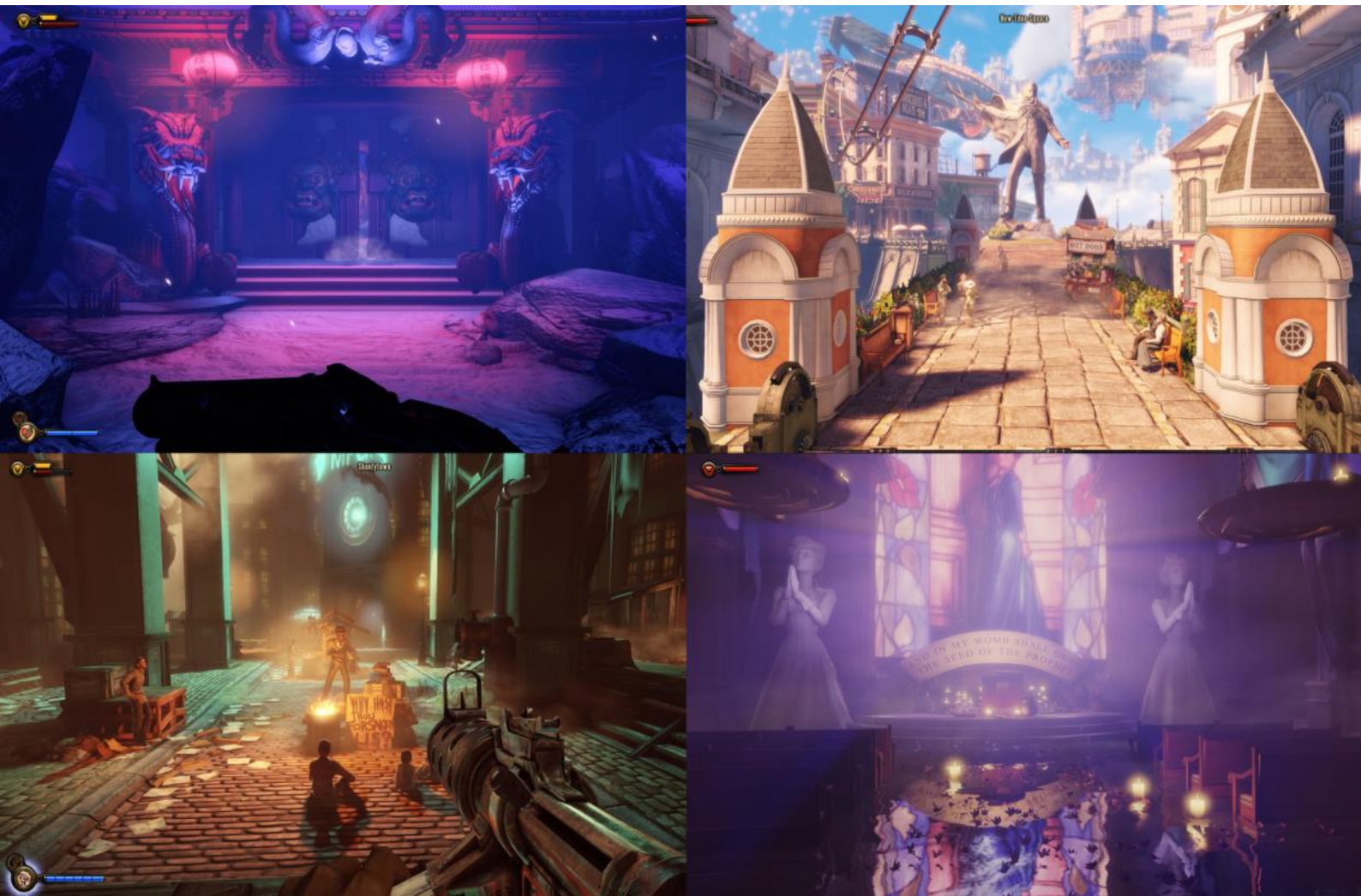
Valaistus herättää katsojassa tunteita. Esimerkiksi kirkas, valkoinen valo koetaan kylmänä ja puhtaana. (Moddb, 2006.) Knez Gävlen yliopistosta ja Niedenthal Malmön yliopistosta tutkivat, kuinka pelin valaistus vaikuttaa pelaajaan ja hänen pelaamiseensa. He huomasivat, että lämmin, punertava valaistus tuntui pelaajista miellyttävämmältä ja he suoriutuivat pelistä paremmin ja nopeammin kuin kylmemmässä valaistuksessa. Pelkällä valon värillä voi myös saada pelaajan tuntemaan itsensä onnellisemmaksi ja iloisemmaksi. (Knez & Niedenthal, 2008.)

3.8 ESIMERKKEJÄ PELEISTÄ

Referenssiä ja inspiraatiota omaan valaistukseen kannattaa hakea oikeasta elämästä, mutta ideaa siihen voi saada myös toisista peleistä. Seuraavaksi esitellään muutama esimerkki erilaisista peleistä ja niiden valaistuksista.

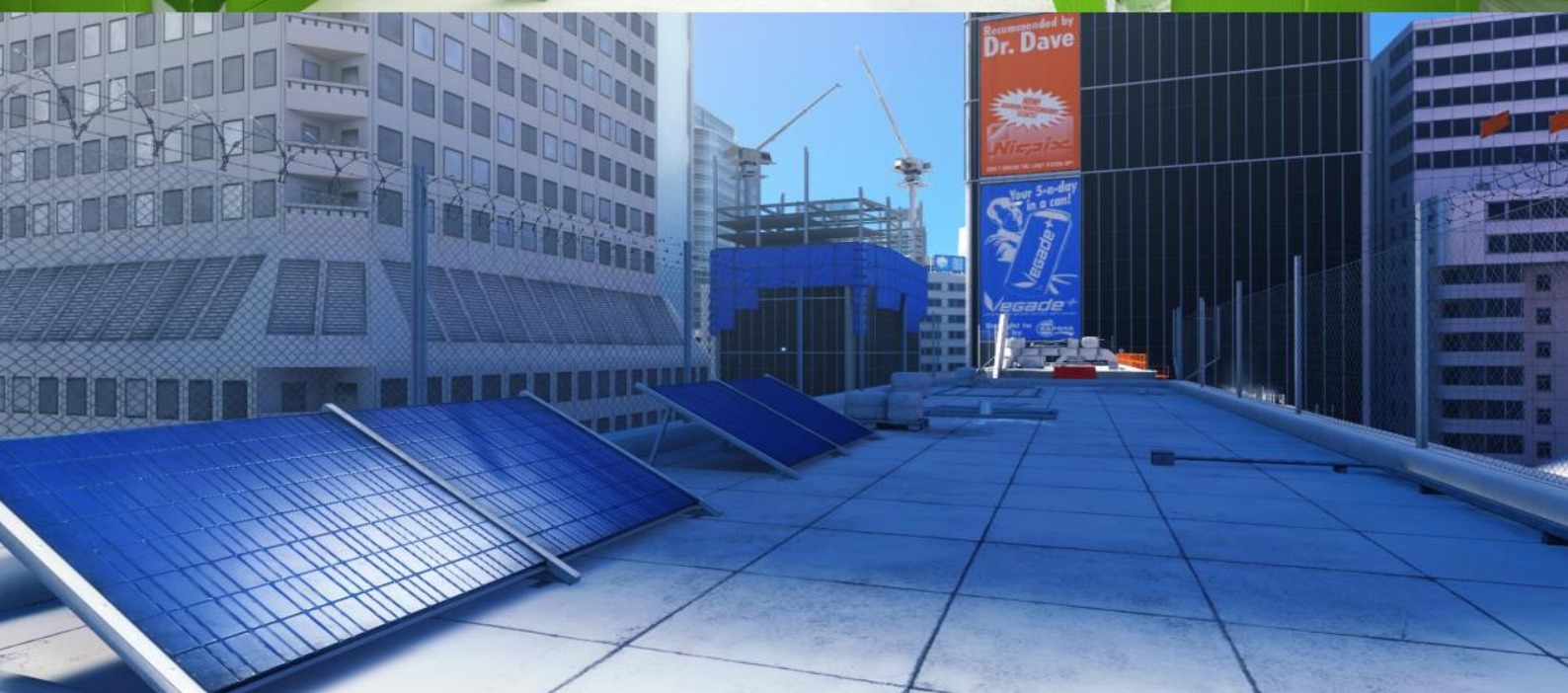
Irrational Gamesin Bioshock Infinite ilmestyi vuonna 2013. Se on ensimmäisestä persoonasta kuvattu ammutapeli ja sen ympäristönä toimi taivaalla leijuva, värikäs kaupunki Columbia. Visuaalista tyyliä kuvattiin liioiteltuna realismina, hyvin värikyläläisenä ja vahvalla kontrastilla varustettuna. Pelistä löytyy kirkkaita, aurinkoisia ulkotiloja ja synkkiä sisätiloja. Bioshock on onnistunut käyttämään paljon värikkäitä valoja ilman, että lopputuloksesta olisi tullut sekava. (Kuva 12.) Pelin valaistus on sekoitus valokarttoihin kiinnitettyjä staattisia valoja ja dynaamista suoraa valoa. (Anichini, 2014.)

Kuva 12. Bioshock Infinite
(Vizibl, 2013).



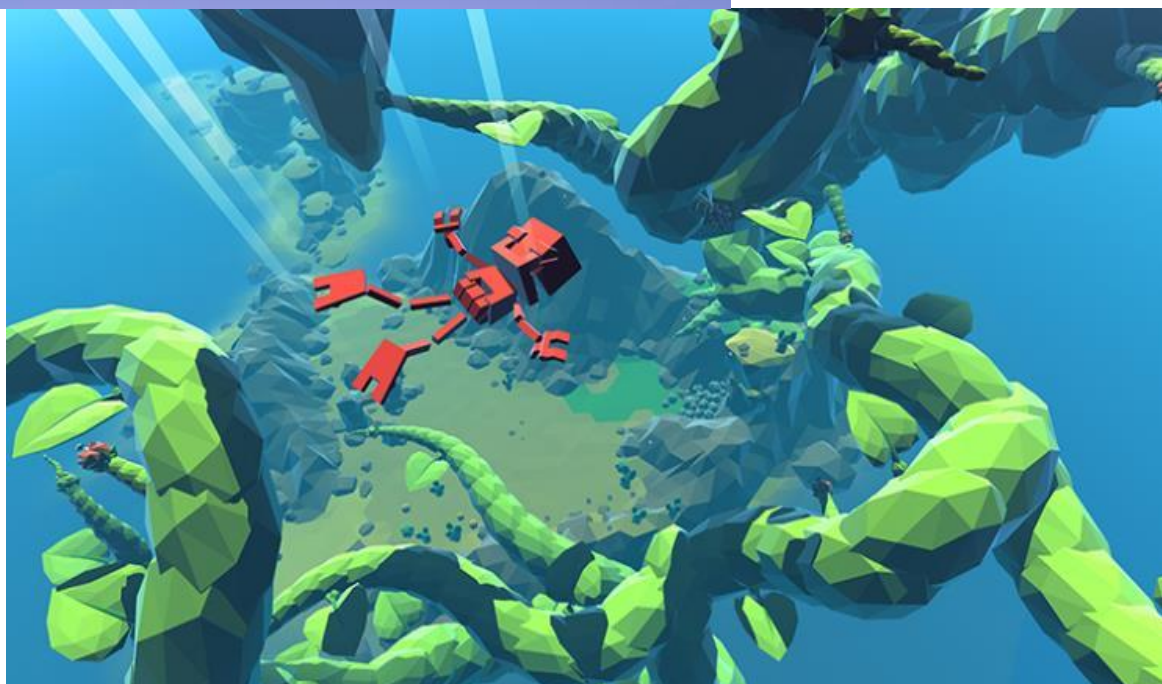
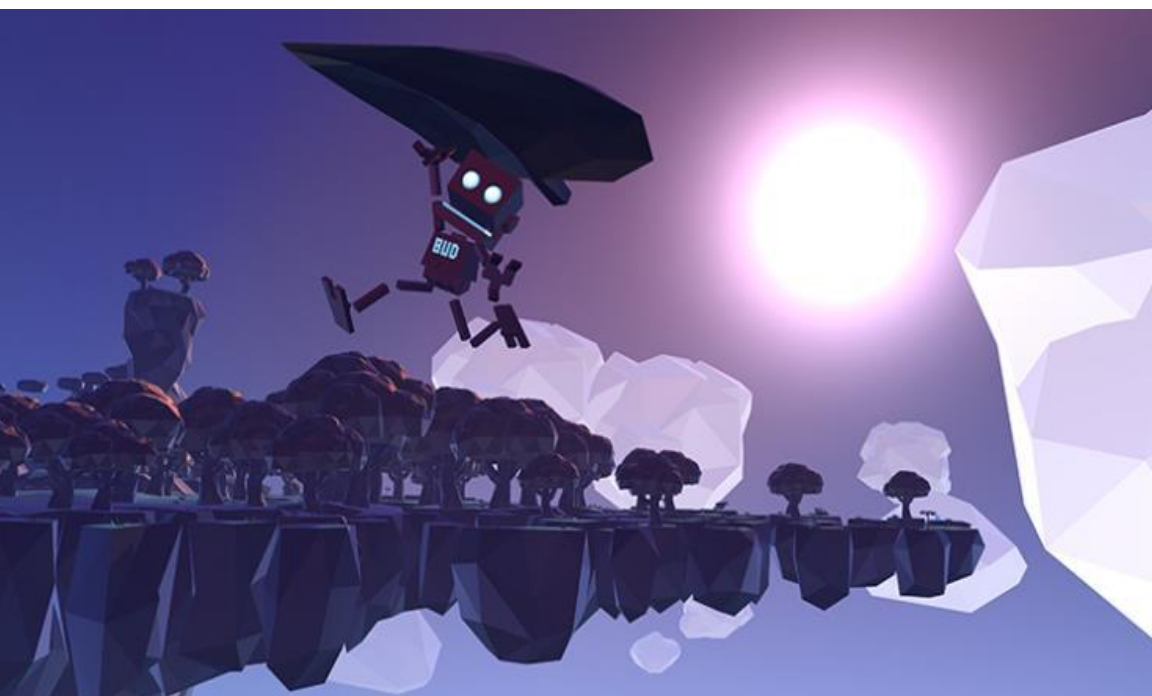
Hieman vanhempi peli, vuonna 2008 ilmestynyt Mirror's Edge, näyttää vielä tänäkin päivänä hyvältä kiitos kauniin valaistuksen. Mirror's Edge on ensimmäisen persoonan toimintaseikkailupeli, jossa juostaan kattojen yllä utopistisessa kaupungissa. Pelin valaistus syntyi käyttämällä Illuminate Labsin kehittämää valaistustyökalua nimeltään Beast. Se keskittyy erityisesti epäsuoran valon simulointiin eli valon kimpoilemiseen ja värien heijastumiseen toisille pinnoille. (Kuva 13.) Pelin valaistuksen ideana oli imitoida mahdollisimman tarkasti realistista valon käyttäytymistä. Se yhdistettiin puhtaan valkoiseen maailmaan, jota piristettiin muutamalla kirkkaalla tehosteväriillä. (Halén & Larsson, 2010.)

Kuva 13. Mirror's Edge
(Viper101, 2014).



Viimeiseksi mainitsemisen arvoinen on pienemmän budjetin peli nimeltään Grow Home. Pelissä kasvatetaan omaa pavunvartta muistuttavaa kasvia ja kiivetään sen avulla kohti korkeuksia pienellä, punaisella robotilla. Pelin minimalistisen, geometrisen ja värikkään tyylin viimeistelee kaunis valaistus. (Kuva 14.) Kaikissa pelin 3D-malleissa käytetään hieman heijastavaa materiaalia, josta valo kimpoaa realistisesti luoden pintojen reunoille hienovaraisia, hehkuvia ääri viivoja. Lisäksi pelissä on päivän ja yön vaihtelu, joten pelatessa voi vain ihaila taivaan värien vaihtelua ja sen heijastumista ympäristöön. (Couvola, 2015.) Kaikki on reaaliaikaista, mutta minimalistisen tyylin takia peli on hyvin kevyt.

Kuva 14. Grow Home
(Couvola, 2015).



Peliprojektin alussa valaistukseen ei kannata kuluttaa paljon aikaa. Alussa voi miettiä haluttua tunnelmaa, mutta muuten valo on alussa vain siksi, että tekijät näkevät 3D-mallinsa. Valaistusta kannattaa tarkemmin alkaa miettiä silloin, kun ympäristön sommittelu on kunnossa, kamera on paikallaan ja sen liikkeet ovat tiedossa. Muuten valaistusta joutuu turhaan muuttamaan, jos ympäristöön tulee lisää tavaraa tai esineiden paikat vaihtuvat. (Birn, 2014, 25.)

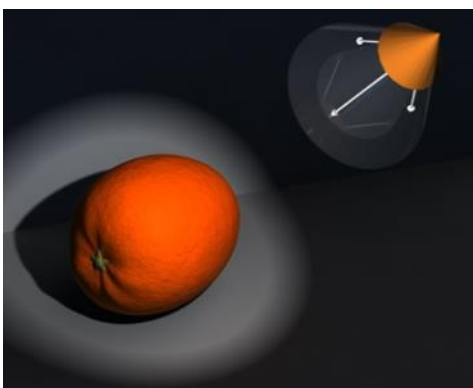
Kun projektissa on aika aloittaa valaisemaan ympäristöä, on hyvä pohtia ja ottaa huomioon muun muassa seuraavia asioita.

4.1 LAMPPUTYYPIT



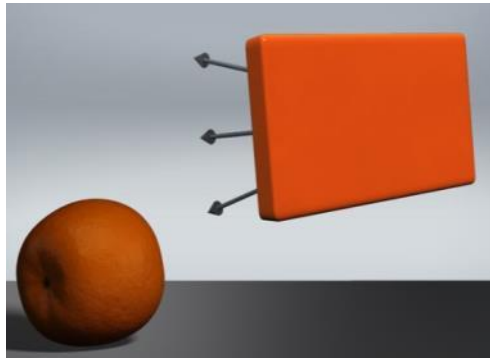
3D-ohjelmat ja pelimoottorit tarjoavat useita erilaisia lampputyyppejä, joiden avulla voi valaista ympäristöä. Yleisimmät valaistuksessa käytettävät lamput ovat *spot light*, *point light*, *area light* ja *directional light*. (Kuva 15 ja 16.) (Masters, 2014a)

Point light, tai *omni light*, eli pistevalo toimii samalla periaatteella kuin hehkulamppu. Se loistaa valoa joka suuntaan valaisten koko alueen eräänlaisen valopallon tavoin. Pistevalo on yleisin lampputyyppi kaikissa 3D-ohjelmissa. Sitä käytetään valoissa, joissa on yksi selkeä valonlähde, kuten kynttilässä ja pöytälampussa. (Masters, 2014a.)



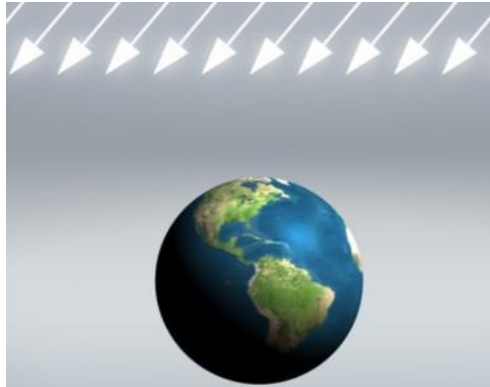
Spot light eli spottivalo toimii kuin oikeakin spottivalo: valo lähtee kartion muotoisesta objektista ja valaisee vain yhteen suuntaan. Kartion sädettä muuttamalla valaistavan alueen kokoa voi säädellä ja samalla vaikuttaa valon pehmeyteen. Lähellä spottivaloa olevat objektit ovat kirkaampia kuin kauempana olevat. (Masters, 2014a.)

Kuva 15. Pistevalo ja spottivalo (Masters, 2014a).



Area light eli aluevalo on valo, josta valon säteet lähtevät selvästi rajatulta suorakaiteen tai ympyrän muotoiselta alueelta vain yhteen suuntaan. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi ikkunoissa tai kattovaloissa. (Masters, 2014a.)

Directional light eli suunnattu valo jäljittelee auringon valoa. Se lähettää valon säteitä koko ympäristöön yhteen suuntaan tietystä, säädettävästä kulmasta. Suunnatun valon sijainnilla ei ole mitään väliä, vain valon kulma ratkaisee. Directional light valaisee kohteet yhtä kirkkaasti, olivat ne sitten lähellä tai kaukana itse valosta. (Masters, 2014a.)



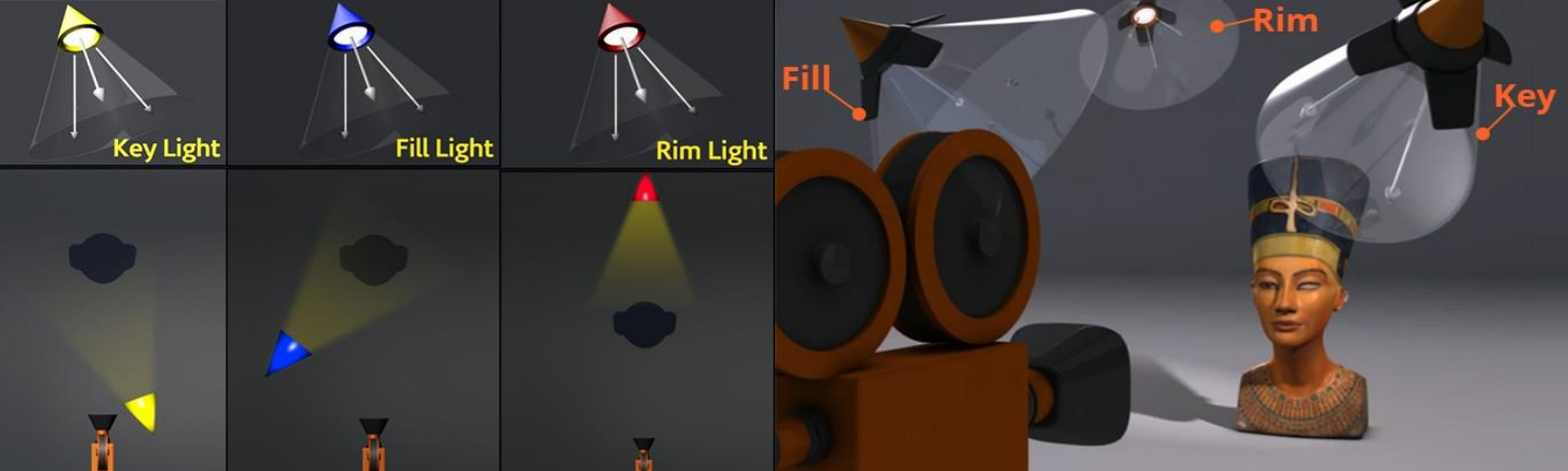
Ambient light eli ympäröivä valo ei ole varsinainen ympäristöön lisättävä lamppu. Sen kirkkaus ei vaihtele ja se valaisee tasaisesti koko aluetta, mutta ympäröivällä valolla ei ole tiettyä suuntaa tai kulmaa, joten siitä ei lähde varjoja. Sillä pyritään valaisemaan hennosti alueet, jotka muuten jäisivät kokonaan mustiksi. Ambient light on siis yksinkertaisin GI:n muoto, jonka avulla voi valaista varjopuolta. (Rangaswamy, 2000.)

Kuva 16. Aluevalo ja suunnattu valo (Masters, 2014a).

4.2 KOLMEN VALON TEKNIikka

3D-valaistuksessa voi ottaa inspiraatiota lavastuksen tai tuotesittelyn valaistuksesta. Perinteiseen valaistussuunnitelmaan kuuluu ainakin kolme erilaista valoa: päävalo eli key light, täytevalo eli fill light ja reunvalo eli rim light. Englanniksi tätä kolmen valon valaistustekniikkaa kutsutaan nimellä *three-point lighting*. (Omernick, 2004.)

Key light eli päävalo on kohtauksen pääasiallinen valonlähde. Se on yleensä kaikkein voimakkain valo ja valaisee suurimman osan kohteesta tuoden hyvin esille sen kolmiulotteisen muodon. Päävalo asetellaan kamerasta katsottuna ideaaliin sijaintiin ja kulmaan. Usein se on 45 asteen kulmassa kameran oikealle puolelle, mutta se riippuu suuresti määrin tilanteesta ja kohteesta. (Masters, 2014c.)



Kuva 17. Kolmen valon tekniikka (Masters, 2014c).

Fill light eli täytevalo on himmeämpi kuin päävalo, ja sen tarkoituksena on tuoda hieman lisää yksityiskohtia esiin ja antaa muotoa varjossakin oleville asioille. Täytevalo toimii parhaiten eri kulmassa ja sijainnissa kuin päävalo, jolloin se valaisee varjoisaa puolta. (Omernick, 2004.) Ambient light toimii myöskin juuri tällaisena täytevalona, antaen hieman valoa myös varjopuolelle.

Viimeinen valo on *rim light* eli taustavalo tai reunavalo, joka valaisee kohdetta takaapäin. Sen avulla syntyy pieni hehku 3D-mallien reunoille, ja se tuo muotoa paremmin esille ja erottaa mallin taustasta. (Omernick, 2004.)

Kolmen valon tekniikka on tyypillinen valaistus yksittäisten kohteiden valaisussa. (Kuva 17.) Sitä voi myös hyödyntää ympäristöissä; esimerkiksi ensiksi voi asetella päävalon ja täytevalon miljööhön. Siitä on hyvä lähteä jatkamaan ja lisäämään pienempiä valoja, jos niille on tarvetta.

4.3 VALONLÄHTEET

Valonlähde lähettää valoa itsestään ympäristöön, eikä hajota tai levitä sitä muualle. Suoraan valonlähteestä tulevaa valoa kutsutaan suoraksi valoksi. (Akenine-Möller, Haines & Hoffman 2008, 100.) On hyvä pohtia, mistä lähteestä suora valo tulee, oli se sitten kattolamppu tai aurinko. Kun valolla on selkeä lähde, se lisää realismia. Valonlähde antaa jo myös osviittaa, millainen valo siitä pitäisi lähteä. (Masters, 2014b.)

Valoja säätäessä valon määrä on hyvä suhteuttaa valonlähteen kokoon. Pienestä hehkulampusta lähtevä, joka nurkkaan ulottuva valtava kirkas valo tai himmeät valonheittimet eivät näytä järkeviltä. Tällöin valo näyttää epätodelliselta ja realismi kärsii, ja pahimmillaan pelaajan immersio kärsii. (Byrne, 2004, 264)

4.4 VÄRIHARMONIA

Aiemmin todettiin, että valkoista valoa esiintyy harvoin oikeassa elämässä, eikä se siis ole realistinen valinta peliympäristöisäkään. Värilliset valot tukevat ympäristön tunnelmaa ja tekevät siitä mielenkiintoisemman. Valojen värejä valittaessa kannattaa valita ainakin kaksi väriä, jotta valaistukseen saa kontrastia. Yhdellä värillä valaistessa ympäristöstä saattaa tulla tylsä ja yksitoikkoinen, mutta tällöin kontrastia voi hakea tummien varjojen ja kirkkaiden valojen avulla. (Moddb, 2006.)

Värit voi jakaa kylmiin ja lämpimiin sävyihin. Sinistä, vihreää ja violetta pidetään kylminä, kun taas keltainen, punainen ja oranssi ovat lämpimämpiä sävyjä. Sekoittamalla kylmiä ja lämpimiä sävyjä saa helposti hyviä yhdistelmiä. (Moddb, 2006.) Esimerkiksi sininen ja oranssi on yleinen, miellyttävä yhdistelmä. Bioshock Infinitessä sinistä iltavalaistusta on piristetty kellertävillä lampuilla. (Kuva 18.)

Kuva 18. Sinertävä iltavalaistus
Bioshock Infinitessä (Vizibl, 2013).



Värit voi myös jakaa vahvoihin ja helppoihin ryhmiin. Punainen koetaan hyvin voimakkaana ja aggressiivisena värinä, joten se vetää helposti huomion itseensä, vaikka se olisi vain pieni piste ympäristössä. Sitä kannattaa siis käyttää varoen, sillä se yleensä vetää kaiken huomion puoleensa ja muu ympärillä unohtuu. Punaisen jälkeen voimakkaita värejä ovat oranssi ja keltainen. Sininen on helppo väri, ja se koetaan rauhoittavana ja rentouttavana värinä. Sinisen lisäksi violetti ja vihreä ovat rauhallisia värejä. (Moddb, 2006.)

Tärkeintä on valita värit, jotka sopivat pelin tai kentän tapahtumapaikkaan. Jos peli sijoittuu aavikolle, valaistuksen väreiksi kannattaa valita keltaista, punaista ja oranssia. Ne toimivat pääväreinä, joita kannattaa ensisijaisesti käyttää pelin valaistuksessa. Näin saadaan hyvä jatkuvuus ympäristössä. Ympäristön muuttuessa valojen väritkin on hyvä muuttaa, koska olisi epärealistista pysyä yhdessä väriskeemassa. Pelissä Journey seikkaillaan niin aavikolla kuin raunioiden syövereissä, ja valaistus muuttuu huomattavasti näiden eri ympäristöjen välillä. (Kuva 19.) Monia eri värejä on syytä välttää valaistuksessa, sillä siitä tulee helposti häiritsevää tunnelmaa. (Byrne, 2004, 263–264.)

Kuva 19. Journey (Thatgamecompany).

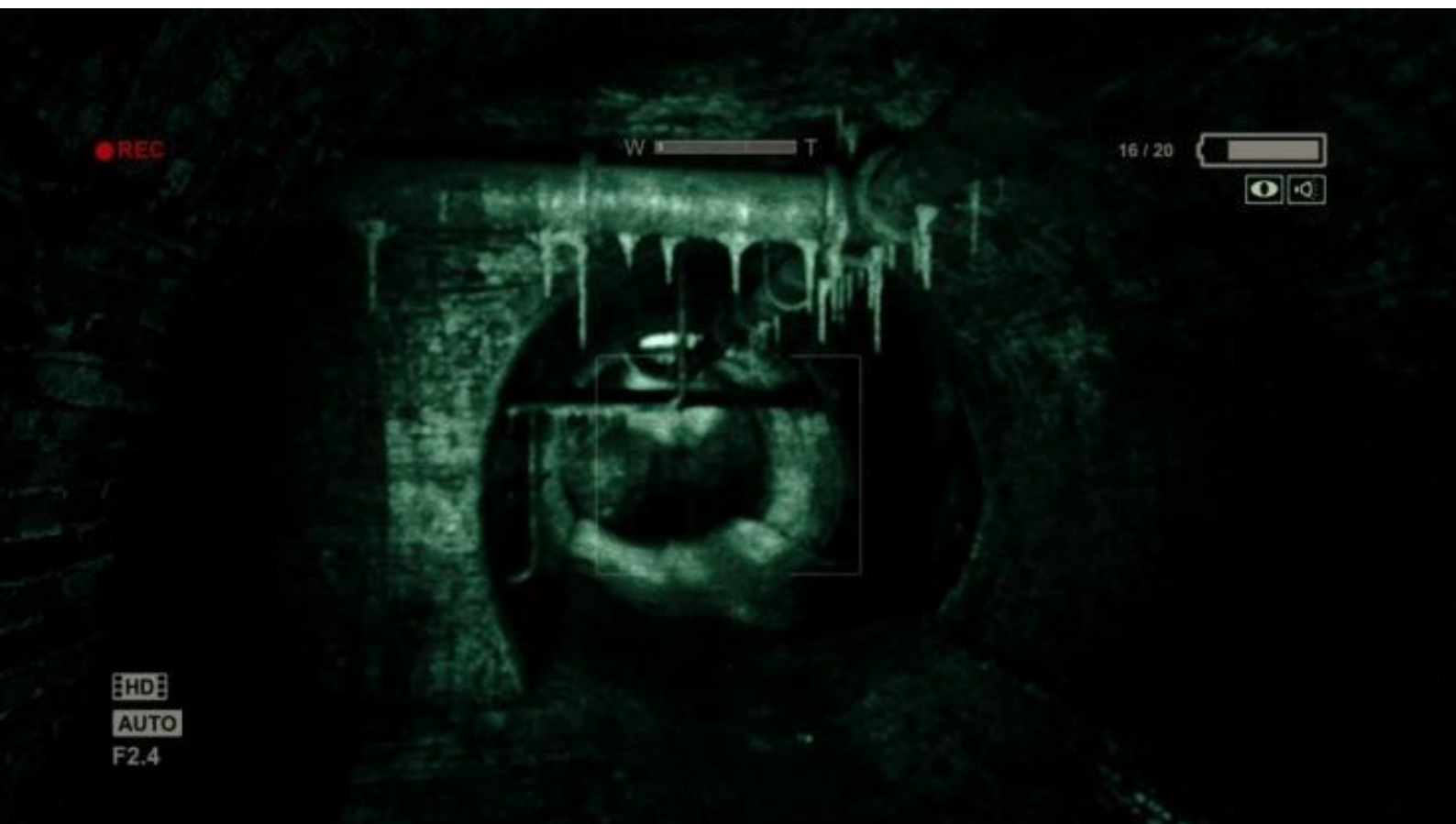


4.5 KENTTÄSUUNNITTELU

Valaistessa kentän layout niin ikään vaikuttaa valaistussuunnitelmaan. On hyvä tietää, mihin pelaajan on tarkoitus edetä, ja onko kentässä jotain muuta, mitä pitää korostaa. Pelaajan liikkuessa kentällä valaistus, heijastukset ja valonsäteet saattavat näyttää erilaisilta eri kulmista. Valaistessa pitää ottaa huomioon kaikki eri mahdolliset kulmat, joista pelaaja voi ympäristöön katsoa. (Masters, 2014b.)

Valojen asettelulla kentässä on suuri rooli pelaajan ohjauksessa. Valot auttavat pelaajaa hahmottamaan, mihin hänen on tarkoitus edetä ympäristössä. Valot helpottavat kentän luettavuutta ja auttavat kiinnittämään huomiota olennaisiin kohteisiin. Pimeät kentät eivät ole suositeltavia, ellei pelin pelimekaniikka sitä vaadi. Esimerkiksi kauhupeleissä pimeät kentät ovat yleisiä, sillä usein pelaajan pitää valaista itse ympäristöään taskulampulla, soihdulla, lyhdyllä tai kuten vuonna 2013 ilmestyneessä Outlast-pelissä pelaaja näki eteensä pimeänäöllä varustellun videokameran avulla. (Kuva 20.) (Jenssen, 2012.)

Kuva 20. Outlast (Red Barrels).



4.6 REALISTISUUS

Valaistus pyritään tekemään tarpeeksi uskottavasti, jotta sen voisi kuvitella olevan todellinen. Realistinen valaistus auttaa pelaajaa uppoutumaan paremmin pelimaailmaan. Vaikka valaistus pyritään tekemään todenmukaisesti, digitaalisessa maailmassa voi muokata valoa paljon vapaammin kuin oikeassa elämässä. (Rangaswamy, 2000.)

Digitaalisia valoja voi laittaa vaikuttamaan vain yhteen kohteeseen, vaikkapa tekemään omat valot pelkästään päähenkilön valaisuun. Tällöin nämä valot eivät valaise tai luo varjoja muuhun ympäristöön. On mahdollista myös lisätä lamppu, joka ei luo varjoa. Sisustuksessa tai lavasteiden valaistuksessa tällainen valon käyttäytyminen ei ole mahdollista, joten valaistus on helpommin muokattavissa digitaalisissa ympäristöissä. (Rangaswamy, 2000.)

Yleisesti ottaen kannattaa pysyä realistisessa valaistuksessa, mutta pieni huijaaminen on sallittua. Olennaista on tehdä valaistuksesta miellyttävä, vaikka se vaatisi paljon enemmän lamppuja epäloogisissa paikoissa. Birn käytti kirjassaan *Digital Lighting and Rendering* esimerkkinä alla olevaa kuvaa Buddha-patsaasta. (Kuva 21.) Vasemmanpuoleinen kuva on otettu vain yhden pistevalon, kynttilän, kanssa. Se näyttää ihan hyvältä, mutta itse patsas jää melko tummaksi, kun yksi pistevalo sivussa ei valaise riittävästi patsaan etupuolta. Tuodakseen paremmin patsaan esille Birn kopioi kynttilän pistevalon, ja toi sen patsaan etupuolelle ja asetti sen valon vaikuttamaan vain patsaaseen. Lisäksi hän lisäsi reunavalon patsaan takaoikealle, jolloin se erottuu paremmin taustasta. Tuloksena Buddha on paremmin valaistu, mutta silti kuva on uskottava ylimääräisistä valoista huolimatta. (Birn, 2014, 14-17.)

Kuva 21. Buddha-patsaan valaisua (Birn, 2014).



5.1 TAVOITE

Opinnäytetyön toiminnallisessa osassa suunnittelen ja toteutan kaksi erilaista valaistusta tekemääni 3D-ympäristöön. Työn aikana tutkitaan, kuinka suuri vaikutus valaistuksella on ympäristöön ja kiinnitetään huomiota teoriaosuudessa läpikäytyihin asioihin. Henkilökohtaisena tavoitteenani on syventää jo olemassa olevia 3D-taitoja, perehtyä Unity-pelimoottorin valaistumahdollisuuksiin ja saada omaan portfolioon hyvännäköistä materiaalia.

5.2 SUUNNITTELU

3D-ympäristö päätettiin toteuttaa jo olemassa olevan rakennuksen pohjalta ajan säästämisen takia. Kohteeksi valittiin tuttu kesämökin tupa, sillä siitä oli jo olemassa tarpeeksi työhön tarvittavaa referenssimateriaalia, eikä aikaa siis tarvinnut käyttää konseptointiin tai lähdemateriaalin keräämiseen.

Ympäristön pelimoottoriksi valittiin Unity (versio 5.3), koska se oli jo entuudestaan tuttu, joten aikaa sen opetteluun ei tarvittu. 3D-mallit tehtiin Blender-mallinnusohjelmalla ja tekstuurien tekoon käytettiin Adobe Photoshop- ja Crazybump-ohjelmia.

Työssä on tarkoituksena kokeilla kahta erilaista valaistusta: ensimmäinen olisi tunnelmaltaan lämmin ja kutsuva, toinen taas kylmä ja yksinäinen, ehkä jopa hieman pelottava. Inspiraatiota työhön otettiin peleistä Firewatch ja Until Dawn. Visuaalisesti nämä kaksi peliä ovat hyvin erilaisia, mutta kummankin pelin valaistus on onnistunut ja tukee pelin tunnelmaa hyvin. Kuvassa 22 vasemmalla puolella on kuvakaappaus Firewatchista, jossa näkyy pelin lämmin, punaoranssi valaistus, kun taas oikealla puolella on esimerkki Until Dawnin pimeistä käytävistä.

Lämpimään valaistukseen käytetään keltaisen ja oranssin sävyjä. Tarkoitus olisi saada samanlainen valaistus kuin kesäiltana auringon laskiessa horisonttiin. Toinen valaistus taas muistuttaisi keskiyön täyden kuun valoa, kylmempää ja ehkä hieman mystistä tunnelmaa. Tarkoitus olisi käyttää hyvin kylmiä värejä, lähinnä sinisen eri sävyjä.

Kuva 22. Inspiraatiota peleistä
Firewatch ja Until Dawn
(Campo Santo, 2016; Nabi, 2015).

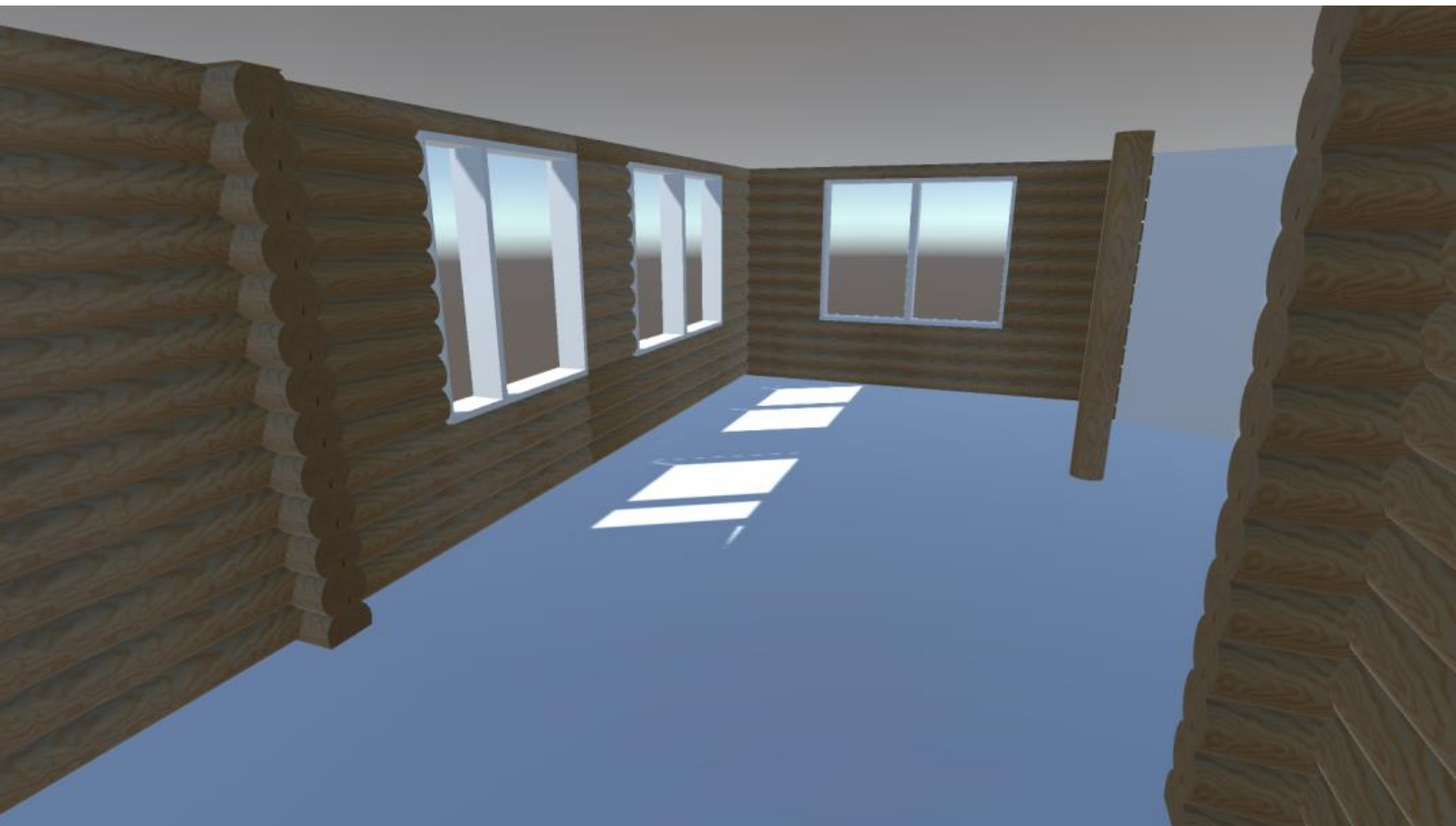


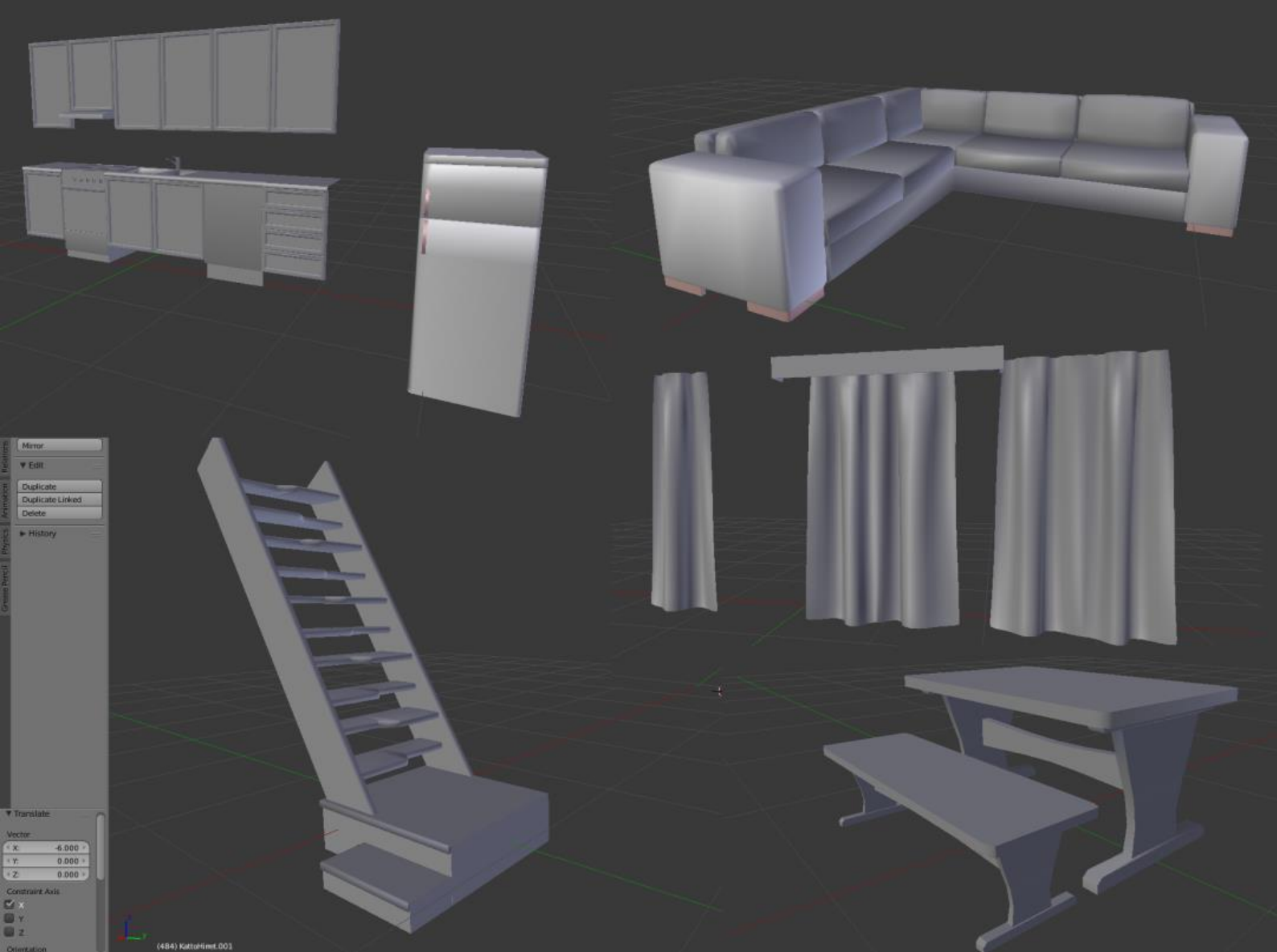
5.3 TOTEUTUS

Työ aloitettiin valokuvaamalla ensin mallinnettavan mökin sisätilat. Valokuvat toimivat referenssinä mallinnuksessa ja eri pinoista otetut kuvat toimivat pohjana mallien tekstuureille. Pohjapiirustuksesta saatiin tarkat mitat 3D-malleille, ja näin ollen päästiin hyvin lähelle oikean elämän vastaavaa mallia.

Referenssikuvien keräyksen jälkeen oli aika siirtyä itse toteutukseen. Ensiksi mallinnettiin pohjapiirustuksen pohjalta hirsiseinät. Mökin kehikko kasattiin Unity-pelimoottorissa kokoon, ja lisäämällä Unityn oma first-person-pelaaja peliin päästiin säätämään kamera kuntoon ja liikkumaan tuvan sisällä. Kuvassa 23 näkyy hirsikehikko paikoillaan Unityssä. Tässä vaiheessa seinien UV-kartat ja tekstuurit olivat vielä kesken, mutta mökin muoto alkoi jo hahmottua.

Kuva 23. Seinät kasattu alustavasti paikoilleen Unityssä.





Kuva 24. Erinäisiä kalusteita mallinnettuna työtä varten.

Projektin alussa aikaa vei mökin kalusteiden mallintaminen, UV-karttojen teko ja teksturointi. Sisälle tuli mallintaa muun muassa keittiön kalusteet, ruokapöytä ja penkit, rappuset, leivinuuni, sohva ja lamput. (Kuva 24.)

Kun suurin osa kalusteista oli tehty ja aseteltu paikoilleen, voitiin jo kokeilla erilaisia valaistuksia. Päävalona toimi yksi suuntavalo, joka toimi lämpimässä valaistuksessa laskevan auringon valona ja toisessa valaisi täysikuun lailla. Sädin suuntavalon kulman kummassakin versiossa pieneksi, jolloin päävalonlähde näyttää olevan melko matalalla. Päävalon lisäksi asetelin sisätilaan muutaman pistevalon kattolampuiksi, jotta sisätilaan saisi hieman lisää valoa.

Valokarttojen teossa ilmeni ongelmia, sillä osaan 3D-malleista ilmestyi mustia pisteitä ja osa ympäristön varjoista oli kokonaan mustia. Ongelmat vaikuttivat yleisiltä Unity 5:n uudessa GI-tekniikassa, ja ilmeisesti kehittäjät yrittävät korjata asiaa tulevissa versioissa. Nämä mustat pisteet ilmestyivät vain staattisia valokarttoja tehdessä, joten päätin tehdä koko valaistuksen ajantasaisesti. Tämä vaihtoehto on raskaampi verrattuna kiinnitettyihin, staattisiin valoihin, mutta koska kyseessä on vain yksi pieni tila, työstä ei vielä tullut liian raskasta tietokoneen laitteistolle.

Mustien pisteiden lisäksi tilassa ilmeni niin sanottua valon vuotamista. Valoa pääsi tulemaan kohtiin, jotka olisi pitänyt olla kokonaan varjossa. Kuvassa 25 näkyy, kuinka oikean puoleisessa nurkassa heijastuu takaseinään valoa, vaikka koko nurkan pitäisi olla pimeänä. (Kuva 25.) Samaa valojen vuotamista ilmeni myös ikkunan reunoissa. Ongelman syytä oli vaikea paikantaa, koska asiaan saattoi vaikuttaa niin Unityn omat, lukuisat asetukset kuin myös ympäristön 3D-mallit.

Kuva 25. Valoa vuotaa 3D-mallien reunoilta.



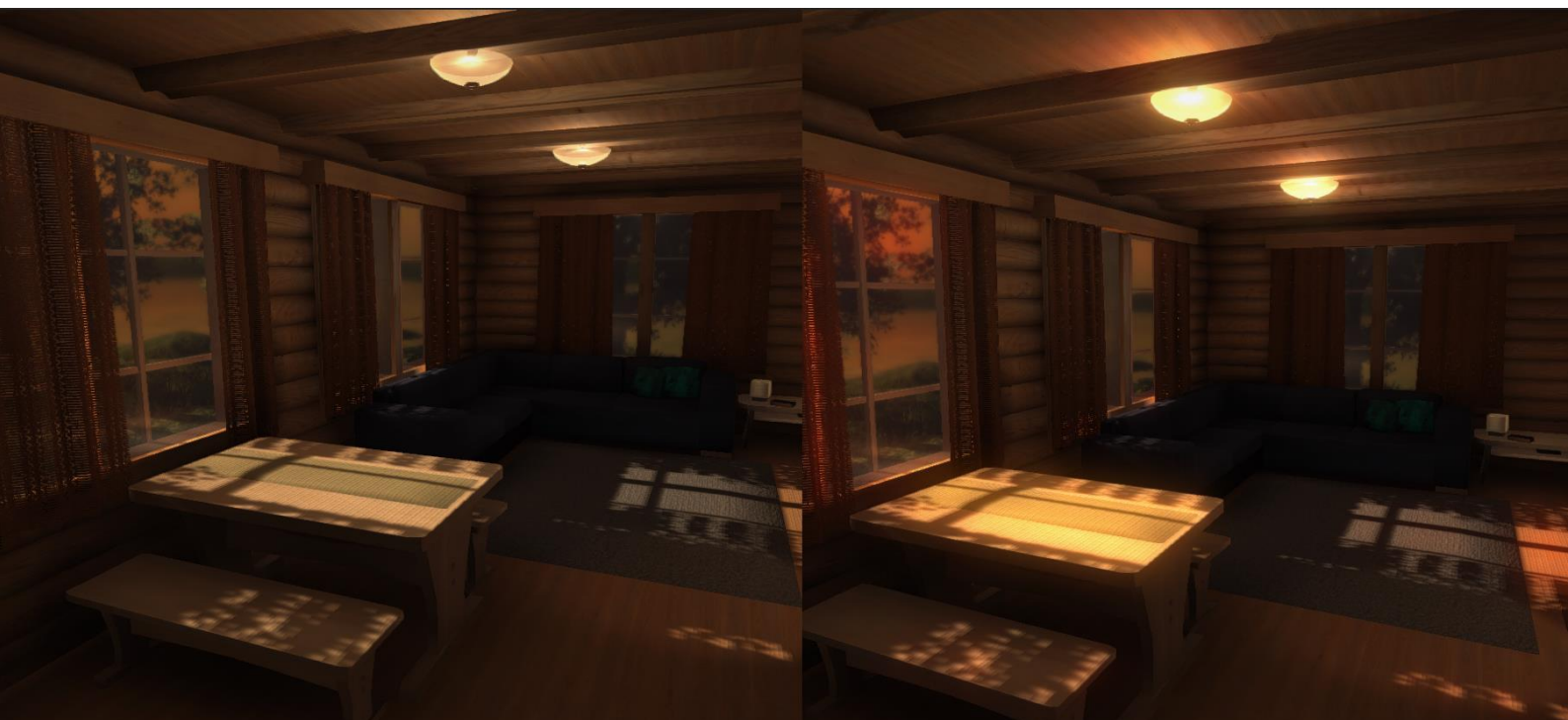


Kuva 26. Liitoskohdista vuotava valo estettiin laatikoiden avulla.

Lopulta päädyin lisäämään vuotavien kohtien eteen laatikoita ja sitten piilotin ne kameranalta. Näin laatikot estivät valon vuotamisen, mutta ne eivät näkyneet pelaajalle. Kuvassa 26 näkyy tällaisia laatikoita ikkunanpielissä, nurkassa ja katon ja hirren välissä.

Kameraan lisäsin muutaman jälkikäsitteleyefektin, bloomia tuomaan hehkua lamppujen ympärille, syväterävyysalueen (englanniksi *depth of field*), ja *antialiasingin* pehmentämään 3D-mallien reunoja. Bloomin tuoma hehku oli mukava lisä ympäristöön. Kellertävässä valaistuksessa se toi lisää lämpöä kuvaan (kuva 27), kun taas sinertävässä versiossa se lisäsi mystisyyttä.

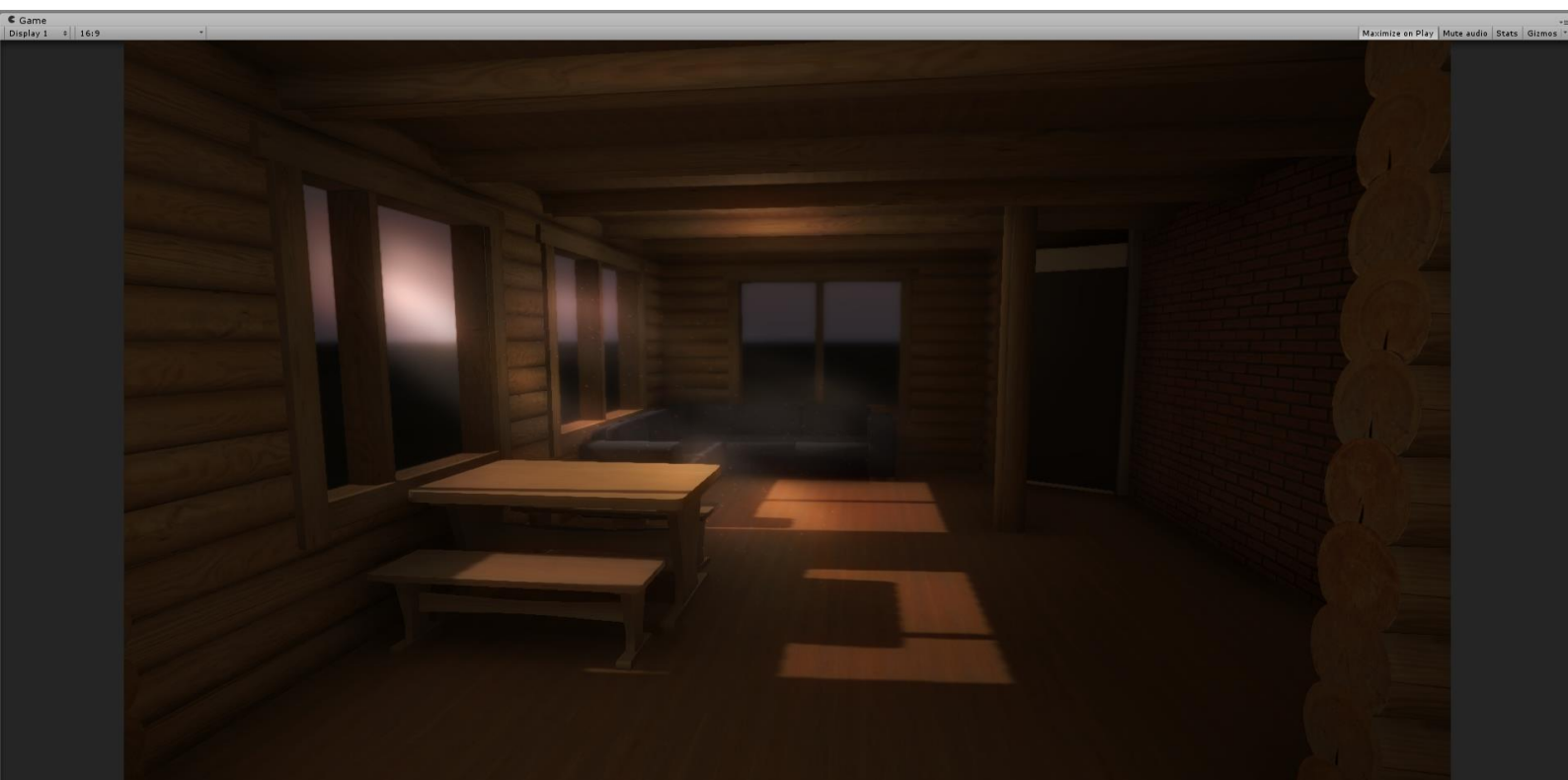
Kuva 27. Vasemmalla tupa ilman bloomia, oikealla bloomin kanssa.

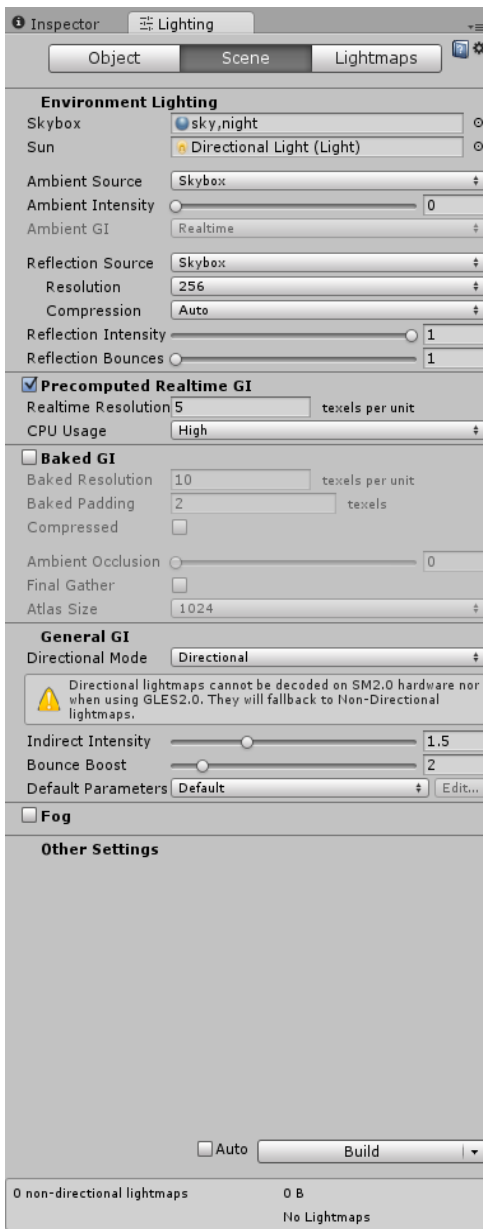


Latasin Unityn omasta kaupasta taustalle ilmaisen *skyboxin* eli laatikon, jossa on joka sivulla tekstuurina taivaan kuva. Skyboxin väriä pystyi muuttamaan, joten pystyin käyttämään sitä kummassakin valaistuksessa taustalla, toisessa punertavana ja toisessa sinertävänä. Lisäksi latasin muutan puun, joita asettelin ikkunan taakse Unityn omalla maastotyökalulla tehtyyn maastoon. Näin ulkopuoli ikkunan takana ei näyttänyt niin tyhjältä.

Ihailtuani kauniita valonsäde-efektejä muissa peleissä halusin lisätä samankaltaisia, silmällä erotettavia säteitä tulemaan tuvan ikkunoista verhojen välistä. Unityssä on saatavilla sun shafts -efekti, mutta se tulee näkyviin vain, jos kamera katsoo suoraan valonlähteeseen. Tämä efekti ei toiminut ympäristössäni, joten jouduin etsimään vaihtoehtoisia toteutustapoja valonsäteille. Löysin muutaman erilaisen vaihtoehdon Unityn omasta kaupasta, mutta ne olivat maksullisia ja en ollut varma niiden toimivuudesta minun ympäristössäni. Päädyn tekemään oman partikkeliefektin, joka imitoi leijuvaa pölyä valokeilassa. (Kuva 28.) Tässäkin efektissä oli ongelmana se, että se näytti hyvältä vain tietyistä kulmista katsottuna. Siksi muutin partikkelit melkein läpinäkyväksi ja käytin niitä vain kylmässä valaistuksessa, koska lämpimään valaistukseen ne eivät mielestäni sopineet.

Kuva 28. Ensimmäinen testaus, kuinka pölyefekti istuisi ympäristöön.





Kuva 29. Valaistusasetuksia Unityssä.

Aikaa työssä kului erinäisten asetusten säätämisessä ja eri arvojen kokeilussa. Kuvassa 29 on Unityn Lighting-välilehti, joka sisältää tärkeimpiä valaistusasetuksia. Täältä pystyi säätämään GI:n yleisiä asetuksia: resoluutiota, vahvuutta ja kuinka monesti valo kimpoaa pinnoilta. Baked GI-kohtaa ei ole valittuna, koska tässä työssä valaistus tehtiin ajantasaisesti.

Ajantasaista resoluutiota nostamalla varjot näyttivät paremmilta, mutta se samalla kasvatti aikaa, mikä koneelta kului valaistuksen laskemiseen. Minun työssä resoluutio on 5, eli viisi texeliä yksikköä kohti (Unity Documentation, 2016b), oli riittävä ja sen laskemiseen kului koneellani reilu kymmenen minuuttia. Oletusarvo on 1, joten mikäli ympäristö on suuri niin arvo kannattaa pitää pienenä.

Yleisistä GI:n asetuksista nostin epäsuoran valon vahvuutta ja valon kimpoamista yhdellä verrattuna oletusasetuksiin. En halunnut käyttää ympäröivää valoa, joten näillä hieman korkeammilla arvoilla varmistettiin, ettei mökissä ole sysimustia varjoja.

5.4 TULOS

Kuvassa 30 näkyy kolme kuvaa tuvasta lämpimässä valaistuksessa. Valot ovat pääasiassa kellertäviä, leivinuunista lähtevää, hieman punertavaa valoa lukuun ottamatta. Tärkeimpänä valonlähteenä ovat aurinkona toimiva suunnattu valo ja katon kattolamput, kolme pistevaloa. Näiden lisäksi tuvassa on vielä pieni pistevalo leivinuunin luukun edessä tuoden pientä hehkua uunin suulle.

Kuva 30.

Tupa lämpimässä valaistuksessa.



Kuvassa 31 on kylmempi valaistus. Tässä pääasiallinen valon lähde on kuun valona toimiva yksi sinisävyinen suunnattu valo ja yksityiskohtana pöytälamppun keltainen pistevalo. Lamppuja on tässä valaistuksessa vähemmän, joten yleisilmeestä tuli hieman hämärämpi verrattuna lämpimään versioon. Ilmassa leijailee hieman pölyä, joka saatiin aikaan partikkeleiden avulla.

Kuva 31.

Tupa kylmässä valaistuksessa.



5.5 ANALYSOINTI

Tavoitteenani oli mallintaa kesämökin tupa ja tehdä siihen kaksi erilaista valaistusta. Tavoite saavutettiin melkein, sillä tuvan toinen puolisko, eli keittiön puoli, jäi hieman kesken. Ennätin alustavasti mallintaa keittiökalusteita, hellaa, tiskialtaan, hanaa ja kaappeja, mutta päätin puoleessa välissä projektia keskittyä enemmän tuvan toiseen päähän, jossa oli sohva ja ikkunat. Mielestäni työ näytti paremmalta ja mielenkiintoisemmalta sitä kulmaa katsottaessa, joten päätin keskittyä enemmän rakennuksen toiseen päähän.

Ongelmia työssä aiheutti valon vuotaminen. Sitä vuoti usein kahden 3D-mallin liitoskohdasta. Asia olisi ehkä korjaantunut, mikäli mallit olisi liitetty yhteen 3D-ohjelmassa, eikä kasattu osista yhteen Unityssä niin kuin minä tein työssäni. Osista kasaaminen oli nopeampaa, mutta aikaa kului sitten vuoto-kohtien paikkaamiseen. Mikäli nyt aloittaisin tekemään työn uudestaan alusta asti, käyttäisin enemmän aikaa mallintamiseen. Nyt halusin nopeasti päästä käsiksi itse valaisuun, joten tein 3D-mallit aika nopeasti. Haluaisin myös lisätä tilaan enemmän pientä tavaraa, jotta se näyttäisi asutulta ja kodikkaammalta.

Huomasin, kuinka paljon jälkikäsitteleyefektit vaikuttavat lopputulokseen ja tekevät työstä hieman viimeistellymmän näköisen. Efektien kanssa pitää kuitenkin olla varovainen, jottei vaan kasaakaan kymmenen eri efektiä päällekkäin ja tällöin ne vaikeuttavat kuvan luettavuutta. Havaittiin, että maltillisesti käytettynä ne tehostavat valaistusta, mutta efektien ylilyönnit taas varastavat huomion olennaisesta.



Kuva 32.

Tupa ilman epäsuoraa valoa.

Työn aikana huomasin myös, kuinka huomattavasti GI lisää ympäristön realismia. Yllä oleva kuva 32 osoittaa huoneen jäävän hyvin tummaksi ilman minkäänlaista epäsuoraa valoa. Tämän tyyllisessä valaistuksessa epäsuora valo on siis välttämättömän luettavuuden kannalta.

Unityn GI-asetusten säätäminen kohdilleen vei enemmän aikaa kuin oletin, kun valaistukseen liittyviä säätöjä on niin paljon ja monessa eri paikassa. Työ sisälsi paljon kokeilua ja odottelua, kun tietokone laski valaistusta uudelleen uusien säätöjen mukaan. Tästä opin, että valaistuksen asetteluun ja hienosäätöön kannattaa projekteissa varata aikaa riittävästi.

Ei ole ihme, että on olemassa erikseen valaistussuunnittelija- ja valaisija-ammattinimikkeitä, koska valaistus on niin iso ja monimutkainen asia, että se tarvitsee omat ammattilaisensa. Sen avulla voi korostaa, ohjailla, luoda tunnelmia, kiinnittää huomiota ja se on usein se viimeinen tekijä, joka sitoo kaiken kohdauksessa yhteen.

Valo on hienovarainen työkalu, jolla voi johdatella ja vaikuttaa suoraan pelaajan käyttäytymiseen, tunteisiin ja alitajuntaan. Valaistustekniikoiden kehittyessä voimme entistä enemmän kertoa tarinaa ja välittää tunteita valon välityksellä. Pian siitä tulee samanlainen tarinan kerrontaväline kuin dialogi tai hahmojen liikkeet. Yhdistämällä sopivaa valaistusta ympäristön kerrontaan voidaan sillä lisätä pelaajan immersiota.

Työn puitteissa tutustuin paremmin Unityn valaistustyökaluihin. Unity 5 on parantanut valaistusmahdollisuuksia huomattavasti verrattuna edelliseen versioon. Global illuminationin eli epäsuoran valon toteuttaminen kuuluu jo nykyajan pelimaailmoihin, joten on mukava huomata Unityn panostavan siihen. Kunhan vain tulevissa Unityn versioissa päästäisiin eroon valokarttoihin liittyvistä ongelmista.

Pelien valaistustekniikoiden ja laitteistojen kehittyessä alamme jo lähennellä fotorealistisuutta. On siis jännittävää päästä seuraamaan, miten valon simulointi kehittyy seuraavan kymmenen vuoden sisällä, kun kehitysvauhti on jo nyt viimeisen viidentoista vuoden aikana ollut huimaava.

- Akenine-Möller T., Haines E. & Hoffman N., (2008) Real-Time Rendering, Third Edition. AK Peters
- Anichini, S. (2014) A Super-Technical Look At The Lighting Of BioShock Infinite. Haettu osoitteesta: <http://kotaku.com/the-science-behind-bioshock-infinites-beautiful-world-1537743502> (luettu 14.3.2016)
- Birn, J. (2014) Digital Lighting and Rendering, Third Edition. New Riders
- Brownmiller, J. (2012) In-game lighting and its effect on player behaviour and decision-making. Saatavilla osoitteessa: https://www.smu.edu/~media/Site/guildhall/Documents/Theses/Brownmiller_Thesis.ashx?la=en (luettu 14.3.2016)
- Byrne, E. (2004) Game Level Design. Charles River Media.
- Campo Santo. (2016) Firewatch. <http://www.firewatchgame.com/> (katsottu 29.1.2016)
- Couvela, J. (2015) Grow Home Is Now Out on PS4! Haettu osoitteesta: <http://blog.ubi.com/grow-home-available-on-ps4/> (luettu 14.3.2016)
- Eye Adaptation. Unreal Engine Documentation. (2015) Haettu osoitteesta: <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Rendering/PostProcessEffects/AutomaticExposure/index.html> (luettu 23.3.2016)
- Gamespot a. Silent Hill 2's galleries. Haettu osoitteesta: <http://www.gamespot.com/silent-hill-2/images/?tag=All%20Images> (katsottu 26.02.2016)
- Gamespot b. Rise of the Tomb Raider's galleries. Haettu osoitteesta: <http://www.gamespot.com/rise-of-the-tomb-raider/images/> (katsottu 26.02.2016)

- Gillen, K. (2007) The Illuminated Ones. Haettu osoitteesta: http://www.escapistmagazine.com/articles/view/video-games/issues/issue_107/1303-The-Illuminated-Ones (luettu 1.3.2016)
- Ginther, D. (2004) Lighting: Its Effect on People and Spaces. Implications, vol 02 issue 02. Saatavilla osoitteessa: http://www.informedesign.org/news/feb_v02-p.pdf (luettu 1.3.2016)
- Halén, H. & Larsson, D. (2010) The Unique Lighting of Mirror's Edge. Saatavilla osoitteessa: <http://www.slideshare.net/DICEStudio/henrikgdc09-compat> (luettu 14.3.2016)
- Houghton, D. (2015) 56 eye-melting screens of the most hilariously over-the-top bloom lighting in video game history. Haettu osoitteesta: <http://www.gamesradar.com/56-eye-melting-screens-most-hilariously-over-the-top-bloom-lighting-in-video-game-history/> (luettu 22.3.2016)
- Jenssen, M. (2012) Functional Lighting. Haettu osoitteesta: http://www.worldofleveldesign.com/categories/wold-members-tutorials/magnar_jenssen/functional-lighting-magnar-jenssen.php (luettu 8.2.2016)
- Kinney, J. (2015) Lighting and Rendering in Unity. Katsottavissa: <http://www.digitaltutors.com/tutorial/2125-Lighting-and-Rendering-in-Unity> (katsottu 29.3.2016)
- Knez, I. & Niedenthal, S. (2008) Lighting in Digital Game Worlds: Effects on Affect and Play Performance. CyberPsychology & Behavior. Saatavilla osoitteessa: <https://dspace.mah.se/bitstream/handle/2043/12765/Knez%20and%20Niedenthal-Lighting%20in%20Digital%20Game%20Worlds.pdf?sequence=2> (luettu 17.2.2016)
- Masters, M. (2014a) Understanding different light types. Haettu osoitteesta: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-different-light-types/> (luettu 8.2.2016)

Masters, M. (2014b) Light up your world: How lighting makes all the difference for games. Haettu osoitteesta: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-the-importance-of-lighting-for-games/> (luettu 25.2.2016)

Masters, M. (2014c) Understanding Three-Point Lighting. Haettu osoitteesta: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-three-point-lighting/> (luettu 25.2.2016)

Mielke, J. (2005) Bittersweet Symphony. Haettu osoitteesta: <http://www.1up.com/features/retroactive-ico> (katsottu 28.1.2016)

Moddb. (2006) Lighting in game environments - the hows and whys. Haettu osoitteesta: <http://www.moddb.com/tutorials/lighting-in-game-environments-the-hows-and-whys> (luettu 1.2.2016)

Mortensen, J. (2014) Global Illumination in Unity 5. Haettu osoitteesta: <http://blogs.unity3d.com/2014/09/18/global-illumination-in-unity-5/> (luettu 17.03.2016)

Myers, M. (2014) Dead On: How the Original Resident Evil Did Right By Zombies. Haettu osoitteesta: <http://www.pastemagazine.com/articles/2014/08/dead-on-how-the-original-resident-evil-did-right-b.html> (katsottu 26.02.2016)

Nabi, M. (2015) 'Until Dawn' Review: Try To Make It Until Dawn. Haettu osoitteesta: <http://heavy.com/games/2015/09/until-dawn-review-try-to-make-it-until-dawn/> (katsottu 29.1.2016)

Nelva, G. (2015) The Witcher 3: Wild Hunt Artist Talks About Weather, Lighting, Consoles, Graphics and Much More. Haettu osoitteesta: <http://www.dualshockers.com/2015/05/08/the-witcher-3-wild-hunt-artist-talks-about-weather-lighting-consoles-graphics-and-much-more/> (luettu 26.2.2016)

Nulph, R. (2000) Light Source: In the Mood? Creating Mood with Light. Haettu osoitteesta: <http://www.videomaker.com/article/c13/7980-light-source-in-the-mood-creating-mood-with-light> (luettu 1.2.2016)

Omernick, M. (2004) Lighting Principles for Game Design. Haettu osoitteesta: <http://www.peachpit.com/articles/article.aspx?p=174370> (luettu 10.2.2016)

PC Games Hardware. (2015) The Witcher 3 | Timelapse | Day & Night Cycle. Katsottavissa osoitteessa: <https://www.youtube.com/watch?v=aLRDsMwS4Vs> (katsottu 11.3.2016)

Prall, C. (2012) Introduction to Lighting in Games. Haettu osoitteesta: <http://buildnewgames.com/lighting/> (luettu 8.3.2016)

Rangaswamy, S. (2000) Visual Storytelling through Lighting. Pixar Animation Studios. Saatavilla osoitteessa: http://www.frankwbaker.com/visual_storytelling_through_lighting.htm (luettu 26.2.2016)

Red Barrels. Outlast. Haettu osoitteesta: <http://www.redbarrelsgames.com/games/outlast/> (katsottu 17.3.2016)

Rihlana, S. (1999) Valaistus ja värit sisustussuunnittelussa. Rakennustieto Oy

Scharr, J. (2.10.2013) The Tech Challenges to Photorealistic Games. Haettu osoitteesta: <http://www.tomsguide.com/us/photorealism-ten-years-why,review-1915.html> (luettu 1.2.2016)

Seif El-Nasr, M., Niedenthal, S., Knez, I., Almeida, P., Zupko, J., (2007) Dynamic Lighting for Tension in Games. Haettu osoitteesta: http://gamestudies.org/0701/articles/elnasr_niedenthal_knez_almeida_zupko (luettu 12.2.2016)

Stuart, K. (2015) Photorealism–The future of video game visuals. Haettu osoitteesta: <http://www.theguardian.com/technology/2015/feb/12/future-of-video-gaming-visuals-nvidia-rendering> (luettu 4.2.2016)

Technobuffalo. (2013) http://www.technobuffalo.com/wp-content/uploads/2013/05/alanwake_07_fight_720p.png (katsottu 17.3.2016)

Thatgamecompany. Journey. Haettu osoitteesta:
<http://thatgamecompany.com/games/journey/>
(katsottu 21.3.2016)

Tweak3D. (2002) The 3D Dictionary. Haettu osoitteesta:
<http://www.tweak3d.net/3ddictionary/3ddictionaryV.shtml>
(luettu 2.3.2016)

Unity Documentation. (2016a) Sun Shafts. Haettu osoitteesta:
<http://docs.unity3d.com/Manual/script-SunShafts.html> (luettu
25.3.2016)

Unity Documentation. (2016b) Lighting Window. Haettu osoitteesta:
<http://docs.unity3d.com/Manual/GlobalIllumination.html> (luettu
4.4.2016)

Unreal Developer Network. (2012) Post Process Effects. Haettu osoitteesta:
<https://udn.epicgames.com/Three/PostProcessEffectsHome.html>
(luettu 4.2.2016)

Unreal Engine Documentation. (2015a) Bloom. Haettu osoitteesta:
<https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Rendering/PostProcessEffects/Bloom/index.html> (luettu 22.3.2016)

Unreal Engine Documentation. (2015b) Eye Adaptation. Haettu osoitteesta:
<https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Rendering/PostProcessEffects/AutomaticExposure/index.html>
(luettu 23.3.2016)

Viper101. (2014) 4k resolution Mirror's Edge screenshots.
<http://imgur.com/gallery/A52IM> (katsottu 16.3.2016)

Vizibl. (2013) Game Screenshots, Bioshock Infinite.
<http://vizibl.squarespace.com/gamescreenshots/bioshock-infinite/?;jsessionid=E483C3FC0788D8293A10186B742849DC.ny1-prod5-web008> (katsottu 17.3.2016)

Wikipedia. Caravaggio. Haettu osoitteesta:
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Caravaggio> (luettu 20.3.2016)

Opinnäytetyössä mainitut pelit:

Campo Santo. (2016) Firewatch. Panic.

CD Projekt RED. (2015) The Witcher 3: Wild Hunt. CD Projekt.

EA DICE. (2008) Mirror's Edge. Electronic Arts.

Irrational Games. (2013) Bioshock Infinite. 2K Games.

Looking Glass Studios. (1998) Thief: The Dark Project. Eidos Interactive.

Red Barrels. (2013) Outlast. Red Barrels.

Remedy Entertainment. (2010) Alan Wake. Microsoft Game Studios.

Starbreeze Studios. (2012) Syndicate. Electronic Arts.

Supermassive Games. (2015) Until Dawn. Sony Computer Entertainment.

Team Ico. (2001) Ico. Sony Computer Entertainment.

Thatgamecompany. (2012) Journey. Sony Computer Entertainment.

Ubisoft Reflections. (2015) Grow Home. Ubisoft.