



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

HDR-VALOKUVAUS

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Mediatekniikan koulutusohjelma
Tekninen visualisointi
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Miira Pakkala

Lahden ammattikorkeakoulu
Mediatekniikan koulutusohjelma

PAKKALA, MIIRA:

HDR-valokuvaus

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 38 sivua

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä perehdytään HDR (High Dynamic Range) eli laajan dynamiikka-alueen valokuvaukseen. Tarkoituksena on esitellä HDR-kuvauksen periaatteet ja tekniikka.

Aluksi perehdytään dynamiikka-alueen käsitteeseen ja valon vaikutukseen ihmisen näkökyvyssä sekä valokuvauksessa. Seuraavaksi siirrytään HDR-kuvauksen teoriaan ja siihen vaikuttaviin asioihin kameran näkökulmasta sekä käsitellään itse kuvausprosessia ja siihen liittyvää tietotaitoa.

Seuraavaksi käsitellään HDR-kuvan luomista ja jälkikäsittelyä kuvasarjan oton jälkeen. Luvussa käydään läpi erilaisia tone mapping -menetelmiä, joilla valmis HDR-kuva muunnetaan näyttölaitteille sopivaan muotoon ja perehdytään kahteen eri ohjelmaan. Lisäksi käydään läpi hieman valokuvan jälkikäsittelyyn liittyviä asioita sekä mahdollisia prosessin aiheuttamia ongelmia.

Lopuksi toteutetaan HDR-kuvia erilaisista kuvauskohteista ja käydään käsiteltyä teoriaa läpi käytännössä.

Asiasanat: dynamiikka-alue, HDR-valokuva, tone mapping, kuvausprosessi

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Media Technology

PAKKALA, MIIRA: HDR Imaging

Bachelor's Thesis in Visualization Engineering, 38 pages

Spring 2014

ABSTRACT

This Bachelor's Thesis deals with HDR imaging. The main goal was to introduce the basics and the required techniques of HDR imaging.

The beginning of the thesis presents the concept of dynamic range in digital photography. The differences and similarities between a camera and human eyes and how they react to light are also covered. The second part of the thesis concentrates on the theory of HDR imaging and the photographic process required to create a HDR image.

The last part of the theory section deals with the different processes after the pictures are transferred to a computer. This chapter explains what tone mapping means and how it affects the final image. Two different HDR programs are also covered. At the end of the chapter there is a general overview of post-processing and some difficulties faced by the user.

In the case section the goal was to create some HDR images using the theory and technique covered in the thesis.

Key words: dynamic range, HDR image, tone mapping, image processing

SISÄLLYS

| | | |
|-------|------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | DYNAMIIKKA-ALUE | 2 |
| 2.1 | Ihmissilmä ja valo | 3 |
| 2.2 | Kamera ja valo | 5 |
| 3 | HDR-VALOKUVAUS | 9 |
| 3.1 | Kamera ja muu välineistö | 10 |
| 3.2 | Histogrammi | 11 |
| 3.3 | Kuvasarjan ottaminen | 13 |
| 3.3.1 | Automaattikuvaus | 16 |
| 3.3.2 | Manuaalinen kuvaus | 17 |
| 3.4 | Tiedostomuodot | 18 |
| 4 | KUVIEN LUOMINEN | 19 |
| 4.1 | Tone mapping | 19 |
| 4.2 | HDR-ohjelmat | 21 |
| 4.2.1 | Adobe Photoshop | 22 |
| 4.2.2 | Photomatix Pro | 25 |
| 4.3 | Värisäädöt ja jälkikäsittely | 28 |
| 5 | CASE: HDR-PROSESSI | 32 |
| 5.1 | Yöllinen maisemakuva | 32 |
| 5.2 | Maisemakuva päivänvalossa | 35 |
| 6 | YHTEENVETO | 38 |
| | LÄHTEET | 39 |

SANASTO

Dynamiikka-alue

Kuvan tummimpien ja vaaleimpien sävyjen suhde.

EV-luku

Exposure value, valotusarvo. Kuvaa tilanteessa vallitsevan valaistuksen voimakkuutta.

Fotoni

Sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen (valokvantti).

HDR

High Dynamic Range eli laaja dynamiikka-alue, joka määritellään tummimman ja vaaleimman arvon suhdelukuna. HDRI eli HDR-kuva sisältää kuvatun näkymän koko dynamiikka-alueen.

LDR

Low Dynamic Range eli dynamiikka-alue, jota voidaan tarkastella tavallisilla näyttölaitteilla sekä tulosteena.

Pikseli

Kuvapisteitä, joista digitaaliset kuvat muodostuvat.

RAW

Häviötön digitaalinen raakakuva, johon on tallentunut yhtä paljon pikseleitä kuin kameran kenno toistaa.

Tone mapping

Menetelmä, jolla HDR-kuvien dynamiikka-alue muunnetaan näyttöpäätteille sopivaan muotoon.

1 JOHDANTO

Jokainen valokuvausta harrastanut on varmasti huomannut ongelman, jossa kameran ja ihmissilmän näkemys kuvattavasta kohteesta on hyvin erilainen. Esimerkiksi auringonlaskua kuvattaessa taivas näyttää upealta, mutta maanpinta ja kuvassa olevat muut kohteet ovat pelkkiä yksityiskohdattomia mustia varjoja. Vastavaloon otetuista muotokuvista tulee tummia siluetteja ja pilvinen taivas tallentuukin piirteettömänä valkoisena taivaana. Tämä johtuu siitä, ettei kameran kenno kykene tallentamaan yhtäaikaan kirkasta valoa ja syviä varjoja. Digikameran rajoittunut dynamiikka ei kykene samaan kuin ihmissilmä.

HDR -valokuvauksesta löytyy ratkaisu näihin laajan kirkkausskaalan tuomiin ongelmiin. Tällöin kameralla kuvataan useita kuvia eri valotuksilla ja yhdistetään nämä kuvat jälkikäteen yhdeksi laajadynamiikkaiseksi kuvaksi, jossa kirkkaat kohdat toistuvat valoisina ja varjojen yksityiskohdat ovat silti värikkäitä ja eloisia. HDR-kuvaus on moniulotteinen prosessi, joka antaa kuvaajalle useita mahdollisuuksia luoda upeita ja värikkäitä kuvia.

2 DYNAMIIKKA-ALUE

Dynamiikka-alueella valokuvauksessa tarkoitetaan kuvan valoisimpien ja tummimpien sävyjen suhdetta ja erityisesti sitä, kuinka laaja kirkkausalue voidaan esittää niin, että kuvan yksityiskohdat erottuvat. Kirkkaimman ja tummimman pikselin suhde muodostaa kuvan dynaamisen ulottuvuuden.

Dynamiikka-alueita kuvataan usein EV-lukuna (Exposure value, valotusarvo), joka kuvaa tilanteessa olevan valaistuksen voimakkuutta. Valotus määräytyy aukon ja ajan yhteisvaikutuksesta, ja EV-luvulla tarkoitetaan kaikkia niitä suljinnopeuden ja aukon suhteiden yhdistelmiä, jotka tuottavat saman valotuksen. Kuvassa 1 havainnollistetaan aukon ja valotusajan yhteyttä kuvan EV-arvoon. Esimerkiksi yhdistelmällä 1/60 - f/4 ja 1/125 - f/2.8 saadaan aikaan sama valotus.

| Valotusajan ja aukon yhteys EV-arvoon | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|------|------|------|
| | f/1.0 | f/1.4 | f/2 | f/2.8 | f/4 | f/5.6 | f/8 | f/11 | f/16 | f/22 |
| 1 s | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ½ s | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ¼ s | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1/8 s | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1/15 s | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1/30 s | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1/60 s | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1/125 s | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1/250 s | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 1/500 s | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |

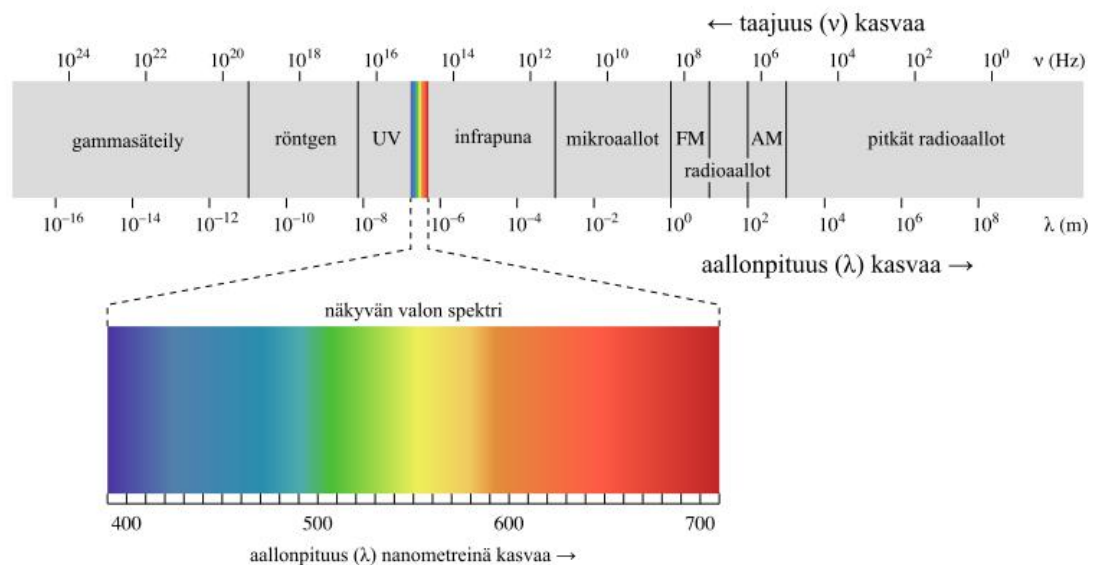
KUVA 1. Valotusajan ja aukon yhteys EV-arvoon (Karhulahti 2006)

Digikamerat kykenevät tallentamaan kerralla vain 5 - 9 EV:n skaalan, joten jos kuvattavan näkymän dynamiikka-alue on suurempi, ei kamera pysty sitä tallentamaan. Ihmisen silmä kykenee erottamaan sävyjä noin 10 - 14 EV:n laajuisella skaalalla. Tämä tarkoittaa sitä, että yhteen otokseen voi tallentaa kirkkausarvoja, joiden välillä on 10 - 14 pykälää. Silmämme kuitenkin tottavat erilaisiin kirkkauksiin niin nopeasti, että tämä skaala nousee 24 EV:hen. Tästä

syystä näemme usein todellisen näkymän hyvin erilaisena kuin kamera sen tallentaa. Ihmissilmä ei näe valojen ja varjojen katoavan äkillisesti vaan se mukautuu epälineaarisesti valon kontrastisuhteiden muutoksiin. (Nightingale 2010, 11.)

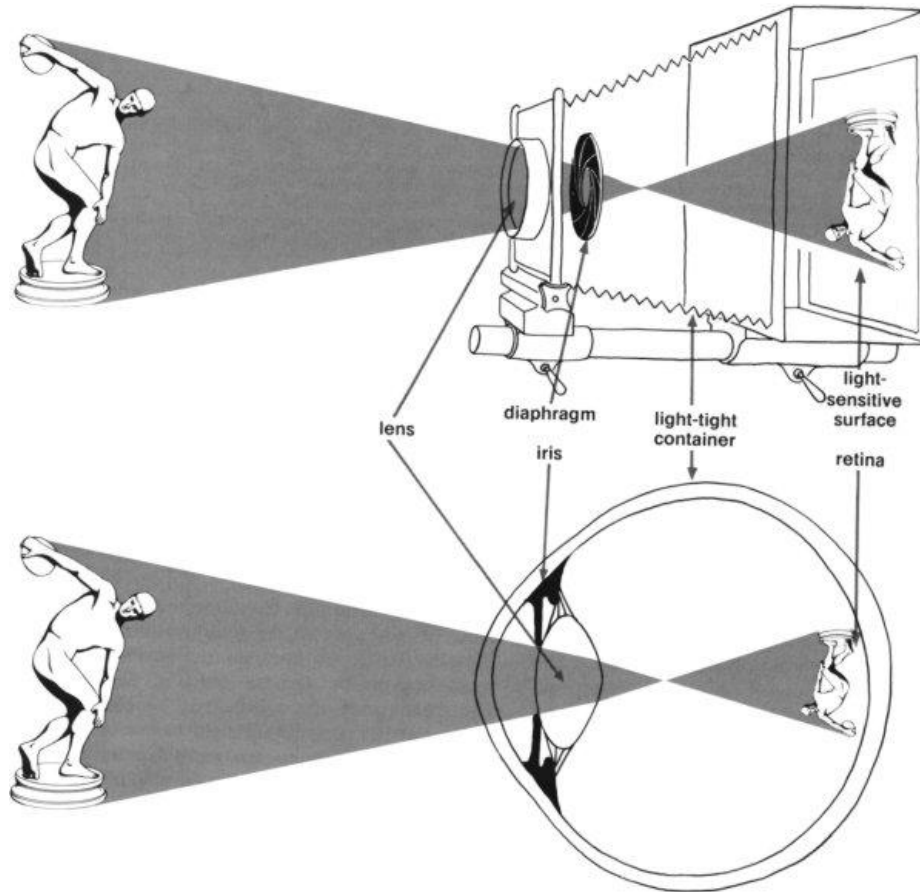
2.1 Ihmissilmä ja valo

Sähkömagneettinen säteily eli sähkömagneettiset aallot jaotellaan aallonpituuden mukaan erilaisiin osa-alueisiin, joista yksi on valo. Valoksi kutsutaan niitä aallonpituuksia, jotka ihminen pystyy aistimaan silmillään. Näkyvän valon aallonpituus on 400 - 700 nm, ja se koostuu fotoneista eli valokvanteista (valoenergiasta).



KUVA 2. Näkyvän valon spektri (Wikipedia 2011)

Valon eri aallonpituudet edustavat eri värejä, jotka yhdessä muodostavat näkyvän valon spektrin (kuva 2). Luonnossa näkyvät värit ovat harvoin puhtaita spektrin värejä ja väri koostuu yleensä kaikista näkyvän valon aallonpituuksista. Ihmissilmän näkemä väri riippuukin useimmiten valon aallonpituusjakaumasta ja voimme havaita kaksi eri jakaumaa samana värinä. (Viljanen, Suvanto, Karhula 2006, 4 - 5.)



KUVA 3. Silmän ja kameran yhtäläisyys (Geog 2003)

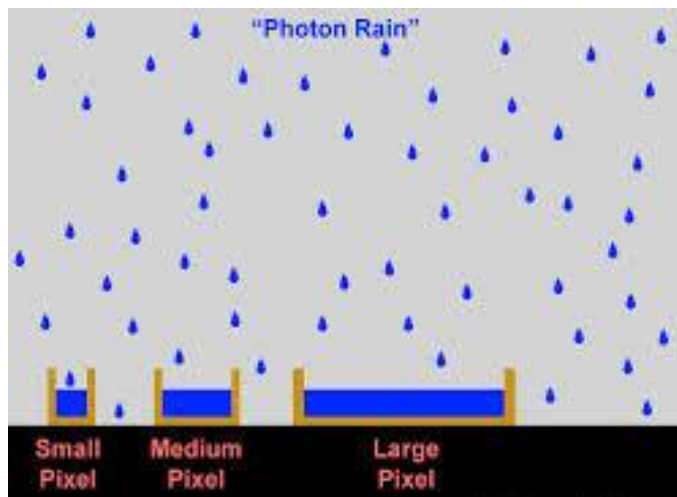
Kuten kuvassa 3 nähdään, muistuttaa ihmissilmän toiminta hyvin paljon kameraa. Värikalvo eli iiris säätelee valon pääsyä silmään, ja kalvon keskellä oleva pupilli toimii kameran aukon tapaan. Iiris supistaa tai laajentaa pupillia valon määrästä riippuen. Sarveiskalvo, lasiainen ja linssi taittavat silmään saapuvaa valoa. Valoinformaatio tallentuu verkkokalvolla oleviin soluihin aivan kuten kameran kennon pikseleihin. Varsinainen näköaistimus syntyy vasta aivoissa, kun silmän verkkokalvolta lähtevä informaatio siirtyy sinne hermoratoja pitkin. (Nygren 2014.)

Silmän verkkokalvo muodostuu tappi- ja sauvasoluista. Sauvasolut reagoivat vähään valoon ja tuottavat mustavalkoisen kuvan hämärässä. Värinäkö muodostuu punaiselle, vihreällä ja siniselle valolle herkkien tappisolujen antaman väri-informaation suhteesta.

2.2 Kamera ja valo

Kameran kennolla ja analogia-digitaalimuuntimella (ADC) on suurin merkitys syntyvän kuvan dynaamiseen ulottuvuuteen. Kenno on kamerasen osa, joka kerää valoa ja jolle kuva muodostuu. ADC-muunnin muuntaa kennolle tallentuneen jännitteen digitaaliseksi signaaliksi ja kuvatiedostoksi. (Freeman, 2009.)

Kameran kenno muodostuu pienistä valoherkistä pikseleistä, jotka tallentavat vastaanotetun valon sähkövaraukseksi. Kennon kullakin pikselillä on tietty ominaiskapasiteetti, jonka täyttymisen jälkeen pikselin tuottama signaali on sama riippumatta siitä, kuinka monta fotonia pikseli vastaanottaa. Pikseli on ikään kuin vesilasi; kun se on täyttynyt, siihen ei mahdu millään keinolla enää enempää sisältöä. Kuva 4 havainnollistaa erikokoisten pikseleiden vastaanottokykyä.

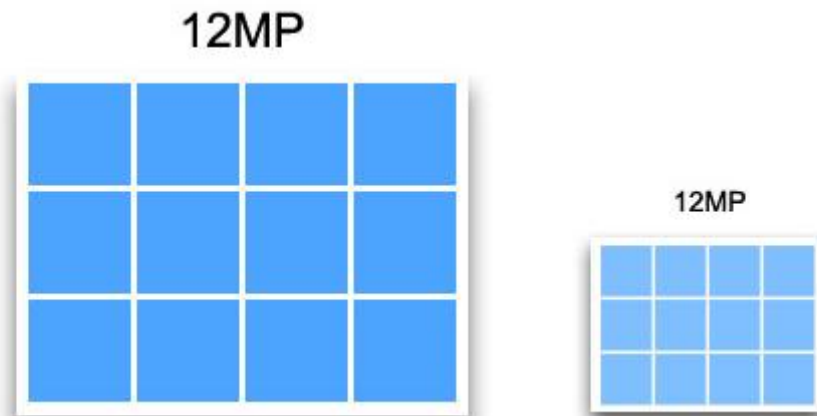


KUVA 4. Pikselin täytyminen kennossa (Clark 2013)

Kuvattavan alueen kirkkaimmasta kohdasta valoa tallentavat pikselit täyttyvät nopeammin, koska fotoneita tulee enemmän kuin tummilta alueilta. Kun tarpeeksi monen pikselin digitaalinen arvo on sama, häviää kuvasta sävyeroja ja tapahtuu ylivalottumista. Pikselin täyttymisen jälkeen siihen ei siis mahdu enää enempää informaatiota ja syntyvästä kuvasta häviää yksityiskohtia. Tämä on syynä siihen, että digikamera pystyy rekisteröimään vain tietyn laajuksen EV-skaalan. (Freeman 2009, 26.)

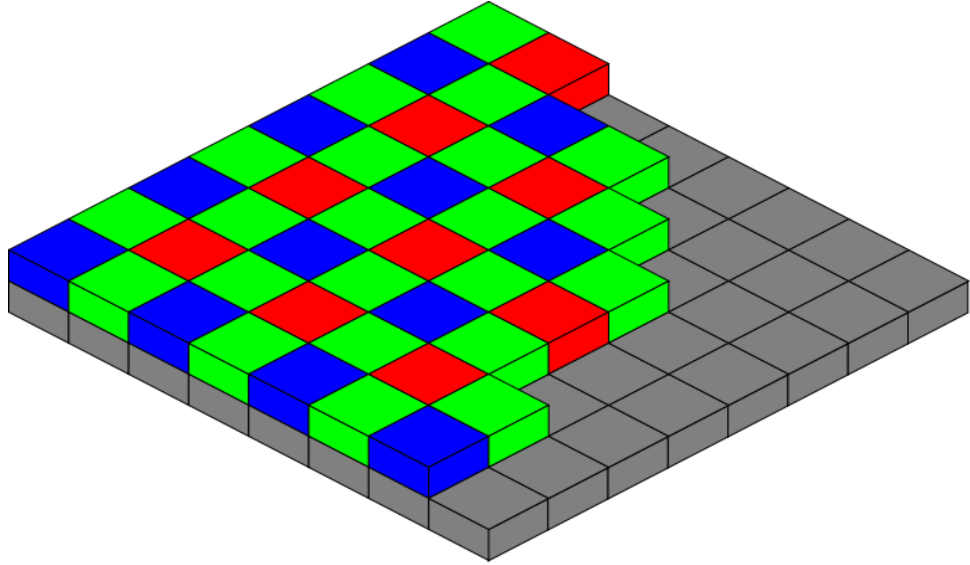
Kennon pikselitiheys vaikuttaa ratkaisevasti kuvanlaatuun. Pikselitiheyttä mitataan vierekkäisten pikseleiden keskipisteiden välisellä etäisyydellä.

Kameroissa on usein 10 - 14 miljoonaa pikseliä, jolloin kennon suuruus vaikuttaa varsinaiseen pikselitiheyteen. Kuvassa 5 on esitetty sama pikselimäärä kahdella erikokoisella kennolla, mikä havainnollistaa eroa pikseleiden koossa. Digitaalisissa järjestelmäkameroissa on huomattavasti suuremmat kennot kuin kompaktikameroissa, mikä tarkoittaa sitä, että järjestelmäkameran kennolla on vähemmän pikseleitä neliösenttiä kohden. Tällöin pikselit ovat suurempia ja ne pystyvät vastaanottamaan suuremman määrän valoa. Digitaaliset järjestelmäkamerat pystyvät siis tallentamaan laajemman dynamiikka-alueen kuin kompaktikamerat. (Nightingale 2010, 13.)



KUVA 5. Kaksi erikokoista kennoa samalla pikselimäärällä (Soon 2012)

Kennon sisältämä informaatio ei vielä sisällä värejä, vaan ne muodostetaan kennon eteen asennetulla mosaiikkisuotimella. Koska ihmissilmä muodostaa värit kolmelle eri värille herkkien näkösolujen avulla, muodostetaan myös valokuvan värit kolmesta perusväristä. Mosaiikkisuodin koostuu punaisista, vihreistä ja sinisistä suotimista. Silmä on herkempi vihreän valon aallonpituuksille, joten vihreitä suotimia on kaksinkertainen määrä. Yksi väri peittää kennolta aina yhden pikselin, joista kameran suoritin interpoloi värin ympärillä olevien pikseleiden kirkkausarvojen perusteella. Kuvassa 6 esitelty Bayer-matriisi havainnollistaa mosaiikkisuotimen toimintaa kennon edessä. (Freeman 2009, 12 - 13)



KUVA 6. Bayer-matriisi (Wikipedia 2006)

Polarisaatio on valon ominaisuus, jota ihmissilmä ei havaitse, mutta joka vaikuttaa valokuvien lopputulokseen. Polarisaatio tarkoittaa sitä, että normaalisti kaikissa sivusuunnissa värähtelevät valoaalot värähtelevät vain yhdessä suunnassa. Useimmiten valo värähtelee jossain tasossa voimakkaammin kuin muissa, eli se on osittain polarisoitunutta. Polarisaatiosuotimella pystytään korjaamaan heijastuvan valon polarisoitumista, jolloin kuvan värisaturaatio kasvaa. Heijastus aiheuttaa kohteen värin haalentumista, kun heijastuva valo peittää sen alleen. Kuvassa 7 on sama näkymä kuvattu ensin ilman polarisaatiosuodinta (vasemmalla) ja sitten suotimen kanssa. Kuvien värikylläisyydessä on huomattava ero. (Viljanen, Suvanto, Karhula 2006, 10 - 12.)



KUVA 7. Polarisaatiosuotimen vaikutus valokuvaan (Wili 2004)

Kameran rajallinen kyky tallentaa dynamiikka-aluetta aiheuttaa usein ongelmia valokuvaajalle. Näkymän liian laajat kontrastisuhteet aiheuttavat kuvaan helposti täysin mustia tai puhkipalaneita kohtia, joista informaatio on kadotettu. Ongelman ratkaisemiseksi kuvaajalla on pääsääntöisesti kolme vaihtoehtoa. Yksinkertaisinta on pyrkiä välttämään otoksia, joissa liian suuri EV-skaala vaikuttaa kuvan lopputulokseen. Tämä voi kuitenkin usein tarkoittaa odottelua tai näkymää ei saa tallennettua halutunlaisena. Toisena keinona on käyttää neutraalia puoliharmaasuodinta, joka tummentaa kuvan kirkkaimpia alueita. Suodin toimii parhaiten maisemakuvauksessa, jossa vaalea ja tumma alue rajaantuu selkeästi horisontilla.

Kolmas keino on käyttää high dynamic range -valokuvausta. Tällöin kuvattavasta näkymästä otetaan useita otoksia eri valotuksilla ja yhdistetään saadut kuvat yhdeksi valokuvaksi. Näin yhteen kuvaan saadaan mahtumaan kaikki yksityiskohdat sekä tummilta että vaaleilta alueilta.

3 HDR-VALOKUVAUS

HDR-valokuvauksen (High dynamic range eli laaja dynamiikka-alue) idea on hyvin yksinkertainen: otetaan kohteesta useita kuvia eri valotuksilla, jotta saadaan tallennettua näkymän koko kirkkausskaala. Tämän jälkeen yhdistetään kuvat laajadynamiikkaiseksi HDR-kuvaksi, jossa esiintyy näkymän koko dynamiikka-alue kirkkaimmista kohdista tummimpiin varjoihin. Kuvassa 8 alimmaisena HDR-kuva, joka on muodostettu yllä näkyvistä kolmesta eri valotusajalla otetusta kuvasta.



KUVA 8. Kolmesta kuvasta muodostettu HDR-kuva (Avanquest 2014)

Suurikontrastiset kuvat ovat kiinnostaneet jo ennen digitaalista valokuvausta. Jo 1850-luvulla Gustave Le Gray yhdisti kaksi eritavoin valotettua negatiivia saaden aikaan dramaattisia merimaisemakuvia. 1940-luvulla Charles Wyckoff kehitti laajadynamiikkaisen filmin, jossa oli kolme eri valoherkkyyden omaavaa kerrosta. Nykyinen tekniikka on kuitenkin kehittynyt paljon myöhemmin, vasta 1900-luvun loppupuolella. (Nightingale 2010, 7.)

3.1 Kamera ja muu välineistö

HDR-kuvaamiseen soveltuu sekä kompaktikamera että digijärjestelmäkamera. Kamerasta täytyy kuitenkin pystyä säätämään valotusaikaa pitäen aukko sekä herkkyys (ISO-arvo) vakiona. Halvimmissa kompaktikameroissa tämä ei usein ole mahdollista, joten paras valinta on digitaalinen järjestelmäkamera, josta löytyvät täydelliset käsisäädöt. Kuvasarjoja otettaessa on tarkoitus säätää vain valotusaikaa, sillä esimerkiksi aukon muuttaminen vaikuttaa myös kuvan terävyysalueeseen ja voi tehdä kuvien yhdistämisestä haastavaa. Kuvassa 9 vasemmalla digijärjestelmäkamera ja oikealla kompaktikamera. Järjestelmäkamera on paljon kompaktikameraa kookkaampi, sillä suurempi kenno ja erillinen objektiivi kasvattavat kameran kokoa.



KUVA 9. Digijärjestelmä- ja kompaktikamera (Atkins 2013 ja Itechnews 2013)

Aukkoarvon muuttaminen vaikuttaa kuvan terävyysalueeseen. Kuvien sisältö voi vaihdella todella paljon eri aukkoarvoilla, joten HDR-kuvauksessa aukon tulee olla sama jokaisen otoksen välillä. Aukon lisäksi myös kuvan herkkyys eli ISO-arvo täytyy pysyä samana. Herkkyys ilmenee kuvissa esiintyvän kohinan määrässä. Mitä suurempi ISO-arvo on, sitä enemmän kuvissa esiintyy kohinaa. Jos kohinan määrä kuvissa vaihtelee paljon, saattaa se hankaloittaa kuvien yhdistämistä jälkeensä. (Nightingale 2010, 24.)

Mitä suurempi kenno käytettävässä kamerassa on, sitä parempi HDR-kuvauksen kannalta. Suureen kennoon mahtuu enemmän informaatiota pikseliä kohden, joten näkymän dynamiikka-alueen saa taltioitua vähemmällä kuvamäärällä. Digitaaliset järjestelmäkamerat soveltuvat usein parhaiten HDR-kuvauksen vaatimukseen ja kuvat onnistuvat paremmin.

Hyvän kameran lisäksi valokuvaajan on syytä harkita myös muiden välineiden käyttöä kuvauksen helpottamiseksi. HDR-kuvauksessa jalusta on erittäin hyödyllinen lisävaruste. Etenkin jos kameran asetuksia muutetaan kuvauksen aikana, on jalustan käyttö erittäin suositeltavaa, jottei kamera pääse liikkumaan. Automaattista haarukointia käytettäessä kuvasarjan voi onnistua kuvaamaan jopa käsivaralta, sillä HDR-ohjelmat pyrkivät kohdistamaan keskenään automaattisesti otettuja kuvia. Lopputuloksessa voi kuitenkin tällöin esiintyä tarpeetonta kohinaa. Jos jalustaa ei löydy, voi kameraa yrittää tukea myös esimerkiksi maahan tai läheiseen seinään.

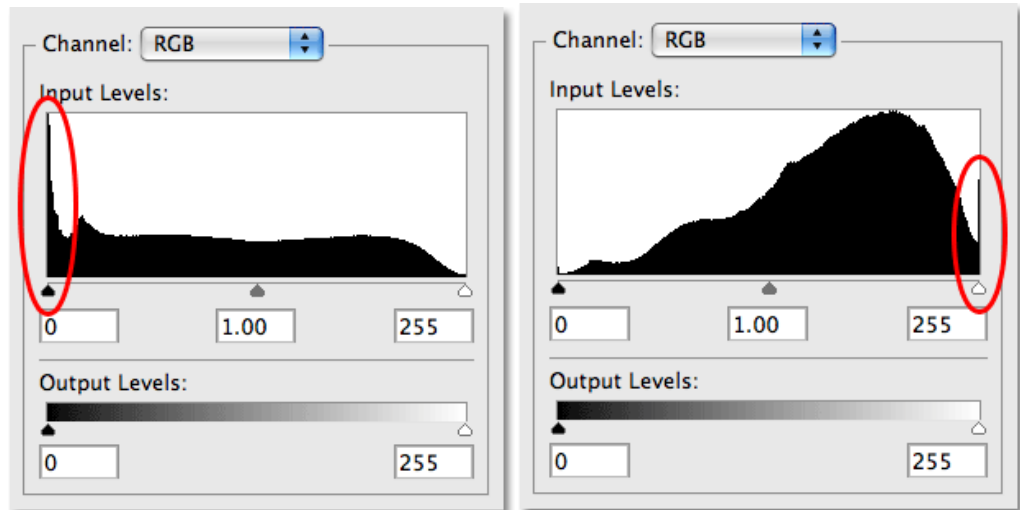
Jos kuvattaessa joudutaan käyttämään erityisen pitkiä valotusaikoja, on kaukolaukaisin hyvä apuväline. Kaukolaukaisin auttaa välttämään kameran turhaa liikahtamista kuvasarjaa otettaessa. Pienetkin kameran tärähdykset valotuksen aikana aiheuttavat epäterävyyttä lopulliseen kuvaan.

HDR-kuvia luotaessa pyritään kuvaan saamaan mahdollisemman paljon kontrastia, jolloin hajavalo on erityisen haitallinen ilmiö. Tähän sopiva apuväline on vastavalosuoja. Kontrastin maksimoiminen korostaa kuvissa esiintyvää hajavaloa, joten sen välttäminen HDR-kuvauksessa on erityisen tärkeää. (Nightingale 2010, 26.)

3.2 Histogrammi

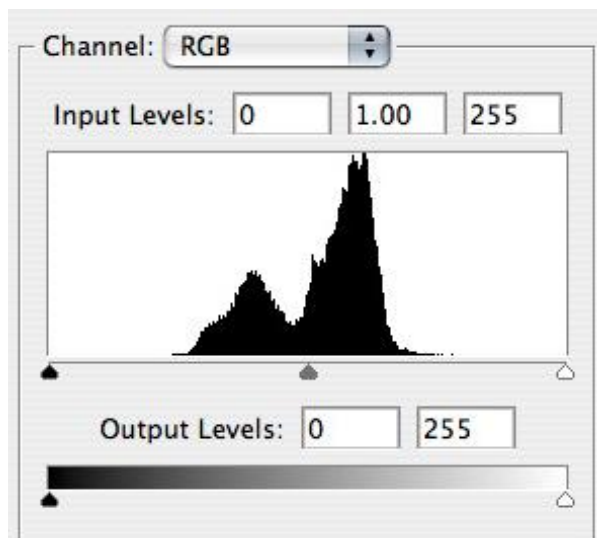
Histogrammi on tärkeä työkalu HDR-kuvia luotaessa. Kameran tai kuvankäsittelyohjelman histogrammia pitää osata lukea, jotta kuvaaja osaa arvioida tarvittavien otosten määrän. Lisäksi histogrammi on hyvä apuväline myöhemmissä kuvankäsittelyvaiheissa. Histogrammia tarkastelemalla voi varmistaa, että lopullinen HDR-kuva sisältää täyden sävyjakauman.

Histogrammi kuvaa sävyjakauman laajuutta kuvassa kaksiulotteisella käyrällä. Vaaka-akseli esittää sävyjakaumaa mustasta valkoiseen, ja käyrän korkeus kuvaa kutakin sävyarvoa vastaavan pikselien määrän. Jos histogrammi leikkaantuu jommastakummasta päästä vaaka-akselia, on kuvassa täysin mustia tai valkoisia alueita. Tällöin kuva on yli- tai alivalottunut ja informaatiota on menetetty, kun EV-alue on ollut kameralle liian suuri. (Evening 2009, 288 - 291.)



KUVAT 10 ja 11. Histogrammin leikkaantuminen (Photoshopessentials 2014)

Kuvat 10 ja 11 havainnollistavat histogrammin leikkaantumista tummasta ja vaaleasta päästä. Vasen histogrammi leikkaantuu tummasta päästä, mikä tarkoittaa sitä, että kuvassa on laajoja alivalottuneita kohtia, jotka ovat jääneet täysin mustiksi. Näistä alueista informaatio on täysin menetetty. Oikeanpuoleisessa histogrammissa käyrä törmää vaaleaan pätyyn, mikä tarkoittaa kuvan palaneen puhki. Kuvaan jää täysin valkoisia alueita.



KUVA 12. Kapean dynamiikka-alueen histogrammi (Photoshopessentials 2014)

Histogrammikuvassa 12 näkymän EV-alue on ollut pienempi kuin kameran kennon dynamiikka-alue, eli kaikki sävyt ovat mahtuneet kuvaan. Toisaalta histogrammi kertoo myös, että kuvan sävyjakauma on hyvin kapea eikä kuvasta

löydy ollenkaan mustaa tai valkoista. Kuvasta puuttuvat siis kokonaan syvät varjot ja kirkkaat huippuvalot.

HDR-kuvaus on tarpeellista tapauksissa, joissa histogrammi leikkaantuu jommastakummasta tai molemmista päistä. Tällöin näkymän dynamiikka-alue ei mahdu kameran kennolle ja kaiken informaation keräämiseksi täytyy käyttää useampaa kuvaa. Käytännössä valmiiseen HDR-kuvaan tarvitaan siis sekä ali- että ylivalottuneet kuvat. Valokuvaajan on syytä tarkastella kuvien histogrammeja, jotta kaikki tieto tulee varmasti taltioitua.

Kirkkaushistogrammin lisäksi joissakin kameroissa ja esimerkiksi Photoshopissa on myös RGB-histogrammi, joka näyttää kolmen värikanavan (punaisen, vihreän ja sinisen) kirkkauden erikseen. Tämä antaa usein tarkemman tuloksen kuin kirkkaushistogrammi, sillä on mahdollista, että esimerkiksi vain punaisen kanavan informaatio on ylivalottunutta. Pelkästä kirkkaushistogrammista tätä ylivalotusta ei välttämättä näe. HDR-kuvauksessa kaiken yli- ja alivalottumisen välttäminen on tärkeää informaation säilyttämiseksi. (Nightingale 2010, 17.)

3.3 Kuvasarjan ottaminen

Jotta täydellisen HDR-kuvan luominen onnistuisi, täytyy kuvasarjan kattaa näkymän koko dynamiikka-alue. Tämä tarkoittaa sitä, että vaaleimpaan kuvaan tallentuvat kaikki varjoalueiden sävyt ja vastaavasti tummimmasta kuvasta ei saa leikkautua pois kirkkaimpien alueiden yksityiskohtia. Jos alkuperäinen kuvasarja ei kata koko dynamiikka-aluetta, jää valmiista HDR-kuvasta puuttumaan sävyjä ja yksityiskohtia.

Kuvasarjan tärkeimmät otokset ovatkin vaalein ja tummin kuva. Tummimmassa kuvassa on huolehdittava siitä, etteivät kirkkaimmatkaan sävyt pääse palamaan puhki. Vaaleimman otoksen kanssa tulee olla erityisen tarkka. On hyvä tarkistaa vaaleimman otoksen histogrammista, että vasempaan reunaan ei jää tyhjää, jolloin kaikki varjojen yksityiskohdat tulevat kuvaan mukaan.

Kuvattavan näkymän dynamiikka-alueen pystyy mittaamaan erillisellä pistevalotusmittarilla tai kameran pistemittaustoiminnolla. Pistemittauksessa

mitataan tarvittava valotuksen määrä suoraan kohteesta. Tällöin kuvaaja tietää, millaisen valotuksen tarvitsee kuvattavan näkymän eri kohtiin. Kun näkymän tummimman ja vaaleimman kohdan tarvitsema valotusaika on mitattu, näkee kuvaaja helposti näiden ääripäiden eron ja siten tarvittavien kuvien määrän. Hyvä valotusmittari on äärimmäisen tarkka, ja sillä voidaan mitata sekä suoraa että kohdistuvaa valoa. Yleensä kuvia otetaan 1 - 2 EV:n välein tarpeen mukaan. (Freeman 2009, 52.)



KUVA 13. Kolme kuvaa HDR-kuvan luontia varten (Fotor 2014)

Tässä esimerkissä (kuva 13) on otettu kolme kuvaa HDR-kuvan muodostamista varten. Keskimäinen kuva on niin sanottu normaali valokuva eli paras mahdollinen valotus, mihin kamera tämän näkymän kohdalla kykenee. Lisäksi näkymästä on otettu yli- ja alivalottuneet kuvat. Tummallalla kuvalla on pyritty saamaan talteen lamput ja niiden yksityiskohdat, jotka normaalitilanteessa palavat selvästi puhki. Ylivalottuneessa kuvassa taas on taltioitu esimerkiksi katon yksityiskohtia ja sävyjä. Lopullisessa HDR-kuvassa (kuva 14) toistuvat kaikki näkymän värit ja yksityiskohdat kirkkaina ja selkeinä. Kameran eivät kykene tähän lopputulokseen yhdellä kuvalla.



KUVA 14. Valmis HDR-kuva (Fotor 2014)

Kuvasarjaa otettaessa on oikean dynamiikka-alueen lisäksi tärkeää kiinnittää huomiota kuvien kohdistamiseen. Jokaisen kuvan sisällön tulisi olla identtinen keskenään. Vaikka useimmat ohjelmat pystyvät kohdistamaan kuvia HDR-kuvan luontivaiheessa, auttaa oikein kohdistetut kuvat silti tarkemman kokonaisuuden luonnissa. Kohdistusvirheet johtuvat yleensä kameran liikkumisesta otosten välillä. (Nightingale 2010, 33.)

HDR-kuvaan muodostuu kohdistusongelmien lisäksi helposti myös haamukuvia. Jos kuvattavassa näkymässä liikkuu jokin objekti, vaihtuu sen paikka jokaisessa otoksessa. Esimerkiksi taivaalla lentävä lintu esiintyy haarukoinnin jokaisessa kuvassa hieman eri kohdassa, mikä aiheuttaa lopulliseen HDR-kuvaan "lintujen jonon" eli haamukuvan. Kuvassa 15 näin on käynyt kuvattaville autoille. Helpoin tapa välttää haamukuvia on ottaa samasta näkymästä useampi kuvasarja, jolloin voi HDR-kuvan luontiin käyttää kaikkein onnistuneinta. Joissakin tapauksissa haamukuvien käyttö voi olla myös tarkoituksellista.



KUVA 15. Autojen muodostamia haamukuvia valmiissa HDR-kuvassa.
(Stamatiou 2009)

Haamukuvien poistaminen onnistuu ainakin joissakin tapauksissa myös jälkikäsitellyssä. Esimerkiksi Adobe Photoshopissa on haamujälkien poistoon tarkoitettu työkalu. Photoshop tunnistaa pohjakuvan ja näyttää vihreän reunaviivan parhaan sävytasapainon omaavan kohteen ympärillä. Muissa kuvissa olevat kohteet poistetaan. (Adobe Community Help 2014)

3.3.1 Automaattikuvaus

Lähes kaikissa digijärjestelmäkameroissa ja myös joissakin kompaktkameroissa on mahdollista haarukoida valotusta automaattisesti. Automaattisessa haarukoinnissa kamera ottaa vähintään kolmen kuvan sarjan, jossa yksi kuvista vastaa mitattua valotusta, yksi on ylivalottunut ja yksi alivalottunut. HDR-kuvasarjaa kuvattaessa on tärkeää muistaa valita aukon esivalinta, joka kiinnittää aukon ja muuttaa vain valotusta sarjan kuvien välillä.

Valokuvaajat käyttävät kameroiden haarukointiominaisuuksia myös normaaleissa kuvaustilanteissa. Haarukoimalla kamera ottaa automaattisesti useita kuvia kuvaajan ennalta asettamien arvojen mukaisesti, jolloin kuvaaja saa samasta tilanteesta kätevästi eri tapaan valotettuja kuvia. Näistä voi myöhemmin valita käsittelyyn onnistuneimman. Useimmista kameroista löytyy

haarukointimahdollisuus pelkälle valotukselle, valotukselle ja salamalle, pelkälle salamalle sekä valkotasapainolle. Lisäksi kuvaaja voi säätää haarukoinnin askelluksen koon. (Mattila 2008.)

Automaattinen haarukointi on tehokas menetelmä HDR-kuvasarjan ottoon, koska kamera pyrkii ottamaan kuvasarjan mahdollisimman nopeasti. Tällöin kohde ei pääse liikkumaan liikaa otosten välillä ja kamera on helppo asettaa jalustalle ottamaan kuvat. Kuvaaja ei vahingossa liikuta kameraa säätäessään asetuksia kesken kuvasarjan oton. Jos kuvattavan näkymän EV-alue kuitenkin on liian suuri, ei automaattinen haarukointi riitä kattamaan koko dynamiikka-aluetta ja kuvaajan täytyy säätää valotusta manuaalisesti.

HDR-kuvasarjan voi ottaa myös käyttämällä kamerasäätövalotuksen korjaustoimintoa, jos automaattista haarukointia ei löydy. Tämä toiminto rajoittuu kuitenkin useimmissa kameroissa ± 2 EV:n alueelle, joka ei aina ole riittävä. Pienehkön dynamiikka-alueen näkymissä valotuksen korjaustoiminto on kuitenkin hyvä tapa ottaa HDR-kuvasarja. (Nightingale 2010, 25.)

3.3.2 Manuaalinen kuvaus

Jos näkymän dynamiikka-alue on hyvin laaja, voi manuaalinen valotusajan muuttaminen olla ainoa ratkaisu kuvasarjan ottamiseksi. Tämä vaihtoehto on kuitenkin huonompi kuin automaattinen haarukointi tai valotuksen korjaus, sillä se vie enemmän aikaa ja on täten alttiimpi virheille. Kamera voi päästä liikahtamaan otosten välillä, jos valotusaikaa säädetään käsin. (Nightingale 2010, 25.)

Kaikista kameroista automaattista haarukointia ei kuitenkaan löydy, joten kuvaajan täytyy säätää valotusaikaa käsin. Etenkin tässä tilanteessa jalustan käyttö on lähes välttämätöntä onnistuneen lopputuloksen aikaansaamiseksi. Pitkät valotusajat ja käsivarainen kamerasäätö otosten välillä aiheuttaa kuvien välille helposti niin suurta heittoa, etteivät edes kuvankäsittelyohjelmat pysty enää yhdistämään kuvia täydellisesti.

3.4 Tiedostomuodot

HDR-kuvasarja kannattaa aina kuvata raw-tiedostoina. Raw- eli raakatiedosto on kennon tuottama bittivirta, joka tallennetaan sellaisenaan. Raw-kuvat ovat ikään kuin digitaalisia negatiiveja. Pikseleitä tallentuu tiedostoon yhtä monta, kuin kameran kenno toistaa eikä välissä tapahdu pakkaamista tai värikorjailuja kuten esimerkiksi JPEG:n kohdalla. Kuvaushetken tiedot tallentuu raakakuvaan niin lähellä kennon aistimaa alkuperäistä tilannetta kuin mahdollista. HDR-kuvauksessa on erityisen tärkeää, että kaikki kameran tallentama informaatio saadaan talteen, koska tietoja katoaa helposti myös käsittelyn aikana. (Karhulahti 2010, 13 - 15.)

12-bittisellä raw-tiedostolla pystytään teoreettisesti esittämään 4096 kirkkaustasoa, kun 8-bittisessä jpeg-kuvassa sama luku on vain 256. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että raw-kuvasta pystytään jälkikäsitellyssä kaivamaan esiin huomattavan määrän näkymättömissä ollutta informaatiota. Esimerkiksi kuvan täysin mustia alueita voi raw-kuvan käsittelyssä pystyä avaamaan niin paljon, että aiemmin piilossa olleita yksityiskohtia saadaan esiin. Raw-tiedoston huomattavasti korkeampi bittisyvyys antaa mahdollisuuksia suuriin sävyalakorjailuihin, jotka tulevat usein HDR-kuvien luonnissa tarpeeseen. (Karhulahti 2010, 15.)

Valmiilla HDR-kuvalla on täysin oma tiedostomuoto ennen tone mapping-muunnosta. Tätä kutsutaan nimellä Radiance RGBE. Se on 32 bittiä kanavaa kohti sisältävä muoto, ja tiedostoon tallentuu värien lisäksi jokaisen pikselin valon määrä. Radiance RGBE:n lisäksi HDR-kuvan voi tallentaa muun muassa tiff-muotoon. Näihin tiedostomuotoihin kuvan voi tallentaa ilman, että kuvasta häviää mitään tietoja, ja kuvan käsittelyä voi jatkaa vaikka toisella ohjelmalla. Lopullinen HDR-kuva täytyy kuitenkin tone mappingin jälkeen tallentaa esimerkiksi jpeg:nä. (Adobe Community Help 2014)

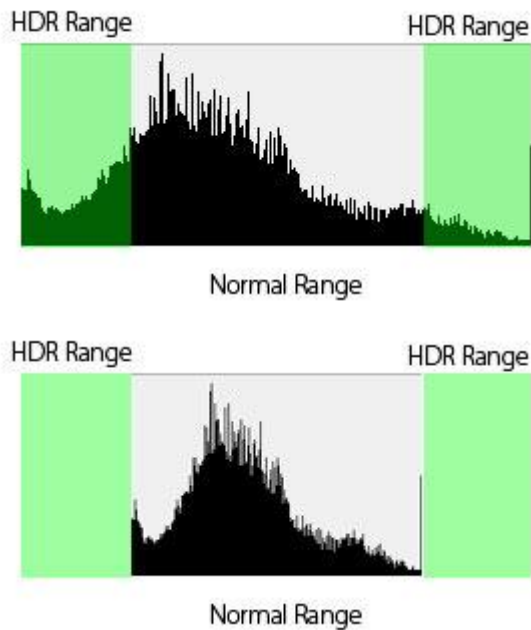
4 KUVIEN LUOMINEN

HDR-kuvan luominen on kaksivaiheinen prosessi. Ensin haarukoidusta kuvasarjasta luodaan HDR-kuva ja sitten kuva muutetaan tone mapping-menetelmällä, jotta sen katselu perinteisillä laitteilla olisi mahdollista. Tästä syystä eri ohjelmien vertaileminen HDR-kuvan luontivaiheessa on haastavaa, sillä prosessin vaiheita ei voi havainnollistaa useimmilla tietokonenäytöillä tai painetussa muodossa ennen valmista tone mapping -muunnosta. Useimmiten valmis HDR-kuva kaipaa lisäksi jälkikäsitelyä halutunlaisen lopputuloksen aikaansaamiseksi. (Nightingale 2010, 38.)

4.1 Tone mapping

HDR-kuvat ovat 32-bittisiä, joten niitä ei voi esittää tai tulostaa perinteisillä kapeadynamiikkaisilla laitteilla (LDR - Low dynamic range). Vaikka HDR-kuva sisältääkin näkymästä kaiken informaation, emme pysty sitä vielä näkemään. 32-bittinen HDR-kuva ei ole visuaalisesti juurikaan paremman näköinen kuin alkuperäisen kuvasarjan yksittäiset otokset, kun se esitetään tavallisella näyttölaitteella tai painettuna kuvana. Tämän vuoksi HDR-kuvan informaatio täytyy tiivistää LDR-muotoon erityisellä tone mapping -tekniikalla, jotta kuvasta ei häviäisi yksityiskohtia. (Nightingale 2010, 19.)

Tone mapping käyttää matemaattisia algoritmeja ja muokkaa kuvan jokaisen pikselin kirkkautta siten, että kaikki informaatio saadaan mahtumaan LDR-luminanssiskaalalle. Tone mappingilla kuva muutetaan 16- tai 8-bittiseen muotoon. Nämä algoritmit ovat niin monimutkaisia, että lopullisen HDR-kuvan täydellinen esikatselu ei ole mahdollista. HDR-ohjelmat tarjoavat kyllä kuvan esikatselumahdollisuuden tone mappingia luodessa, mutta lopputulos ei kuitenkaan välttämättä ole täysin vastaava.



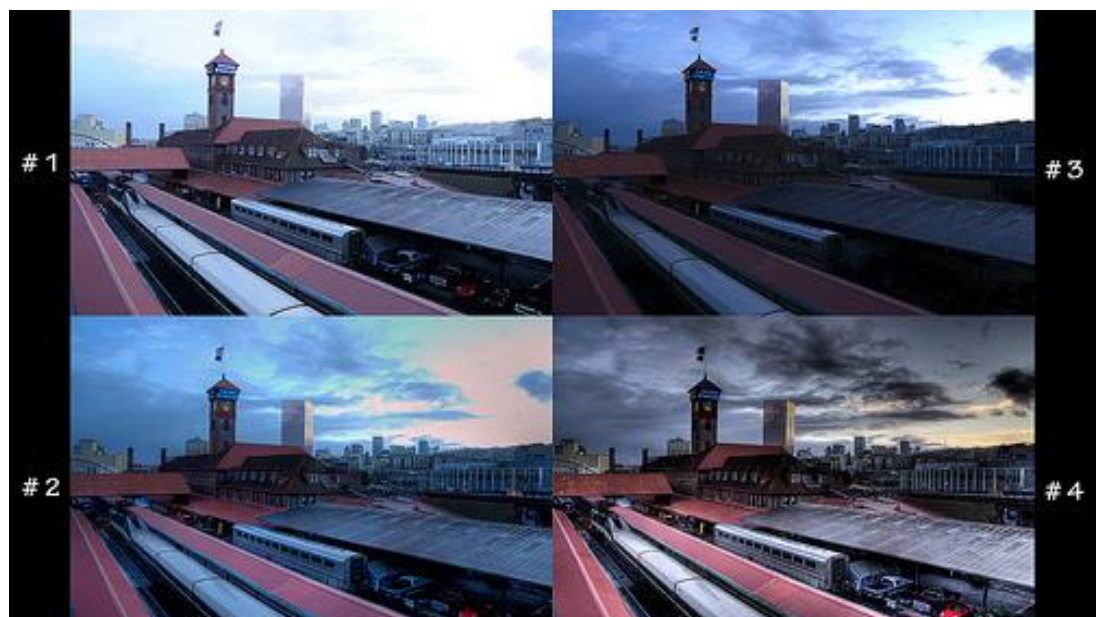
KUVA 16. Histogrammin tiivistäminen tone mappingillä (Slagerman 2008)

Histogrammikuvat 16 havainnollistavat hyvin tone mappingin toimintaa. Ensimmäinen kuva esittää teoreettista juuri muodostetun HDR-kuvan histogrammia. Sävyt leikkaantuvat selvästi molemmista päistä histogrammia, mikä tarkoittaa sitä, että näkyvästä kuvasta häviää kaikki tummat ja vaaleat yksityiskohdat. Käytännössä kuva näyttää siis suunnilleen samalta, kuin pelkkä yksittäinen otos näkymästä. Tone mapping -prosessi ikään kuin tiivistää tämän sävyskaalan mahtumaan tavallisten näyttölaitteiden tukemalle sävyskaalalle.

Tone mapping on mahdollista tehdä sekä globaalisti että lokaalisti. Globaalilla algoritmilla tone mapping muuntaa jokaisen pikselin samaa kaavaa käyttäen ja käsittelee pikseleitä yhdenmukaisesti. Tämä menetelmä tuottaa usein vielä liian tumman tai vaalen lopputuloksen ja hävittää yksityiskohtia. Lokaalilla tone mappingilla säädetään jokaista pikseliä erikseen suhteessa sitä ympäröivien pikselien arvoihin. Tällöin saadaan aikaan paikallisen kontrastin lisäys, joka on eri suuri kuvan eri alueilla ja lopputulos on huomattavasti näyttävämpi.

Kuvasarjassa 17 on havainnollistettu tone mappingin vaikutusta lopulliseen kuvaan. Kuvassa #1 näkyy HDR-kuvasarjan yksittäinen, mitatulla valotuksella otettu valokuva. Tässä kuvassa on runsaasti puhkipalaneita sekä täysin mustia kohtia. Kuvassa #2 tälle yksittäiselle otokselle on tehty tone mapping -muunnos.

Yksittäiselle kuvalle tehty tone mapping -muunnos ei saa aikaan samaa dynaamista ulottuvuutta kuin useammasta kuvasta yhdistettynä, mutta se on hyvä tapa yhtenäistää kuvan sävyjakaumaa. Kuvassa #3 on yhdeksästä otoksesta muodostettu HDR-kuva. 32-bittisen kuvan esikatselu näyttää lattealta ja jopa huonommalta kuin pelkkä yksittäinen otos. Tämän vuoksi kuva täytyy muuntaa tavalliselle näyttölaitteelle sopivaksi. Viimeinen kuva esittää HDR-kuvan valmista tone mapping -muunnosta. Sävyjakauman ero aiempiin kolmeen kuvaan on huikea. HDR-kuvasta on saatu esiin myös tummilla alueilla olevat yksityiskohdat ja sävyt.



KUVA 17. Sama kuva erilaisin käsittelytavoin (Cormack 2008)

4.2 HDR-ohjelmat

Erilaisia HDR-kuvien luomiseen soveltuvia ohjelmia löytyy nykyään lukuisia. Tunnetuimpia näistä lienee Photomatix Pro, FDRTools Advanced ja Adobe Photoshop. Kaikille näille ohjelmille yhteistä on kyky yhdistää haarukoitu kuvasarja yhdeksi 32-bittiseksi HDR-kuvaksi ja muuntaa se sitten tone mapping -menetelmällä 8- tai 16-bittiseksi LDR-kuvaksi.

32-bittistä väriavaruutta käytetään valokuvauksen lisäksi myös muissa yhteyksissä. Elokvateollisuudessa sitä käytetään muun muassa

animaatiotehosteissa tietokoneella luotujen hahmojen esittämiseen ja yhdistämiseen kuvatun materiaalin kanssa. Tämä tehdään yleensä niin, että tallennetaan niin sanottu lightprobe-kuva paikasta, jossa kuvaus tapahtuu. Lightprobe on suuntaamaton HDR-kuva, joka muodostuu päinvastaisiin suuntiin suunnatulla 180 asteen kalansilmäobjektilla kuvatuista limittäisistä kuvista. Se voidaan toteuttaa myös tavallisella objektiivilla peilipintaista palloa kuvaamalla. Lopputuloksena saadaan kuva, joka sisältää kaiken tarvittavan tiedon varjostuksien ja pintojen tekemiseksi. (Evening 2009, 368.)

Eri ohjelmat suoriutuvat HDR-kuvan luomisesta eri tavoin, ja niistä löytyy erilaiset valikoimat toimintoja. Tässä opinnäytetyössä käsitellään lukuisista ohjelmista tarkemmin kahta: Adobe Photoshopia ja Photomatix Prota.

4.2.1 Adobe Photoshop

HDR-mahdollisuus tuli Photoshopiin versiossa CS2. Tässä versiossa oli vielä paljon puutteita toiminnallisuuksissa ja hienosäädössä. Esimerkiksi haamukuvat aiheuttivat suuria ongelmia. Luonnollisten fotorealististen kuvien luonti onnistui kuitenkin jo CS2:ssa hyvin. Nykyään Adobe on kehittänyt Photoshopin HDR-toimintoa ja uusimmissa versioissa se on erittäin kilpailukykyinen muiden HDR-ohjelmien kanssa.

HDR-kuvan luominen Photoshopilla on hyvin yksinkertainen prosessi. Se käynnistyy valikkokomennolla File/Automate/Merge to HDR Pro. Tällöin näyttöön avautuu valintaikkuna, jossa yhdistettävät kuvat voi valita. Tämän jälkeen Photoshop yhdistää kuvat automaattisesti. Riippuen tietokoneen tehosta ja kuvien määrästä yhdistämisprosessi voi kestää useitakin minuutteja. Kun kuva on luotu, voi käyttäjä vielä muokata kuvan asetuksia ja tallentaa kuvan joko 32-bittisenä HDR-kuvana tai suoraan 8- tai 16-bittisenä tone mappina. (Simon 2010)

Photoshopissa 32-bittisen HDR-kuvan voi muuntaa 8- tai 16-bittiseksi LDR-kuvaksi neljällä erilaisella muuntotavalla. Nämä tavat ovat: Highlight Compression (huippuvalon pakkaus), Equalize Histogram (tasaa histogrammi), Exposure and Gamma (valotus ja gamma) sekä Local Adaption (paikallinen sovittaminen). Bittisyvydeksi on syytä valita 16-bittiä, koska silloin LDR-kuvaan

jää jäljelle huomattavasti enemmän informaatiota jälkikäsitteilyä varten. (Nightingale 2010, 58.)

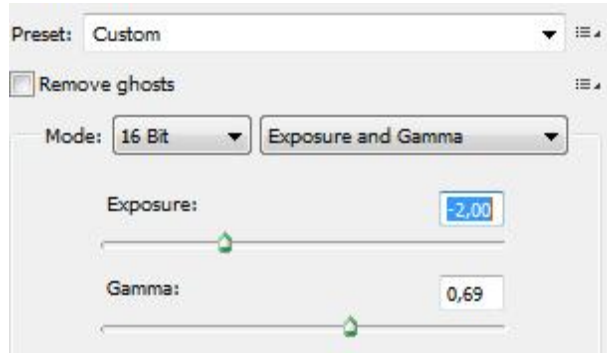
Highlight Compression -tekniikka on algoritmeiltaan yksinkertaisin tone mapping -menetelmä. Se pakkaa alkuperäisen kuvan huippuvalot niin, että ne mahtuvat alemman bittisyvyyden omaavan kuvan luminanssiskaalalle. Tämän vuoksi valmiista kuvista tulee usein melko tummia ja varjoalueiden yksityiskohtia katoaa. Histogrammin taseus (equalize histogram) -muunnos taas pakkaa alkuperäisen kuvan dynamiikka-alueita pyrkien säilyttämään kuvan kontrastin. Menetelmä säilyttää paremmin tummien alueiden yksityiskohtia, mutta useimmissa tapauksissa sävyjä kuitenkin leikkaantuu sekä vaaleasta että tummasta päästä. Nämä molemmat menetelmät ovat täysin automaattisia ja jättävät käyttäjälle hyvin vähän säätövaraa muunnosvaiheessa. (Nightingale 2010, 59.)

Local Adaption -menetelmä pyrkii muodostamaan LDR-kuvan siten, että kuvan eri alueille luodaan paikallista kontrastia. Käytännössä siis sekä vaaleilla että tummilla alueilla säilyy laaja sävyskala. Muunnoksen yhteydessä kuvaaja pystyy säätämään paikallisen kirkkausalueen kokoa radius-liikusäätimellä. Säteen lisäksi kirkkausaluetta säädetään myös threshold-liikusäätimellä. Tämä määrittää, kuinka suuri ero kahden pikselin sävyjen välillä täytyy olla, jotta ne kuuluvat eri kirkkausalueisiin. Näin Photoshop jakaa kuvan eri kirkkausalueisiin ja säätää niiden sävyjakaumia erikseen.

Local Adaptionin säätöihin kuuluu myös Toning Curve (sävytyskäyrä). Sävytyskäyrä on hyvin samanlainen kuin tavallinen Curves-työkalu, mutta sillä käyrän ohjaukspisteet voidaan tulkita kulmiksi. Tällöin käyrää ei tasoiteta vaan sävyvaste pysyy lineaarisena. Sävytyskäyrä vaikuttaa lähinnä kuvan esteettisyyteen ja suurimman osan säädöistä voi tehdä myös tone mapping-muunnoksen jälkeen tavallisilla kuvankäsittelyn työkaluilla. (Nightingale 2010, 61.)

Viimeinen neljästä Photoshopin tone mapping -muunnostavasta on Exposure and Gamma. Se on kaksivaiheinen prosessi, jossa käytetään kahta liikusäädintä (kuva 18). Aluksi kuvasta säädetään Exposure-arvoa vasemmalle niin paljon, että esikatselussa näkyvän kuvan vaalein alue on riittävän tumma eikä puhkipalamista

enää näy. Tämän jälkeen Gamma-säädintä liikutetaan oikealle, jolloin kuvan tummat sävyt vaalenevat. Tarkoituksena on siirtää säädintä niin paljon, että mikään alue kuvassa ei jää kokonaan pimentoon.



KUVA 18. Exposure and Gamma liikusäädöt (Kuvakaappaus ohjelmasta 2014)

Tässä vaiheessa kuvasta puuttuu runsaasti kontrastia ja lopputulos on hyvin lattea. Muunnos viedään kuitenkin läpi ja lopulliset sävyt kaivetaan esiin vasta jälkikäsittelyssä. Kyseinen tekniikka vaatii käyttäjältä hyviä kuvankäsittelytaitoja sekä kärsivällisyyttä. On hankalaa arvioida millaisilla muunnosarvoilla saadaan jälkikäsittelyssä paras mahdollinen kuva aikaiseksi. Kuva 19 havainnollistaa prosessia. Vasemmalla lattea tone mapping -muunnos ja oikealla sama kuva jälkiselitettynä Curves-työkalulla.



KUVA 19. Exposure and Gamma muunnos (Pakkala 2014)

Seuraavassa kuvasarjassa 20 on sama HDR-kuva muunnettu LDR-muotoon jokaisella Photoshopin tone mapping -menetelmällä. Kuva 1 on muunnettu Equalize Histogramia käyttäen. Kuvassa varjoalueet ovat selkeästi tummemmat kuin muissa ja esimerkiksi kivien ympärille on jäänyt täysin mustia alueita. Kuvassa 2 on käytetty Exposure and Gamma-muunnosta. Kuva 3 on luotu Highlight Compression-muunnosta käyttäen ja viimeinen, eli kuva 4, Local

Adaptionilla. Teknisesti parhaaseen tulokseen tässä tapauksessa ylittää Local Adaption -menetelmä, joka saa kuvan värit hehkumaan ilman, että tumma pää menee tukkoon tai vaalea pää palaa puhki. Tässä kuvasarjassa muutkaan lopputulokset eivät kuitenkaan ole huonoja ja parhaan muunnosmenetelmän löytää yksinkertaisesti kokeilemalla.



KUVA 20. Photoshopin tone mapping-menetelmät (Pakkala 2014)

Suurin etu Photoshopin käytöstä HDR-kuvan luomiseen on mahdollisuus käsitellä raw-tiedostoja ennen kuvien yhdistämistä. Photoshopissa voi tehdä monenlaisia muutoksia kuviin ennen Merge to HDR -komentoa ja muutokset on mahdollista tehdä yhtäaikaaisesti koko kuvasarjalle. Esimerkiksi valkotasapainoa, selkeyttä ja värikylläisyyttä pystyy muokkaamaan ennen kuvien yhdistämistä. Muutokset kannattaa aina tehdä mitattua valotusta vastaavaan kuvaan, jolloin esikatselu on helpompaa. (Nightingale 2010, 43.)

4.2.2 Photomatix Pro

Photomatix Pro on yksinomaan HDR-kuvien luontiin tarkoitettu ohjelma. Sen tone mapping -algoritmit ovat hyvin kehittyneet ja antavat käyttäjälle lukuisia mahdollisuuksia kuvien tekemiseen. Tone mappingin luontiin löytyy kaksi

vaihtoehtoa: Tone Compressor ja Details Enhancer. Tone Compressor on näistä yksinkertaisempi ja tuottaa Photoshopia vastaavia realistisia ja näyttäviä kuvia. Details Enhancer on huomattavasti kehittyneempi tekniikka ja sisältää lukuisia mahdollisuuksia muokata HDR-kuvaa. Tällä menetelmällä onnistuu myös hyperrealististen kuvien tekeminen.

Myös Photomatix Prolla HDR-kuvan luominen on yksinkertainen prosessi. Komento löytyy valikkokomennolla Process/Generate HDR. Tämän jälkeen näyttöön tulee valintaikkuna, josta käyttäjä valitsee HDR-kuvaan haluamansa otokset. Tämän jälkeen käyttäjä voi vielä tehdä haluamiaan asetuksia kuvien kohdistamiseksi ja haamukuvien poistamiseksi. Tämän jälkeen ohjelma luo valmiin 32-bittisen HDR-kuvan. Seuraavaksi valitaan haluttu tone mapping -menetelmä valikkokomennolla Process/Tone Mapping. (Nightingale 2010, 46.)

Tone Compressor -menetelmä on tehokas tapa luoda fotorealistisia kuvia. Ennen muunnoksen tekoa käyttäjä voi säätää kuvan asetuksia erilaisilla liukusäätimillä. Kuvasta voidaan säätää värikylläisyyttä, värilämpötilaa ja kirkkautta kuten Photoshopissakin. Lisäksi kuvasta voi määrittää mustan ja valkoisen pisteen. Tone-compressor valintaikkunasta löytyy myös kuvan tarkka histogrammi, jota seuraamalla asetukset saa helpommin oikein. Kaksi tärkeintä säädintä tässä muutosprosessissa ovat Tonal range compression ja Contrast adaption. Niiden avulla säädetään kuvan paikallinen kontrasti ja lopullinen sävyskaala. Oletusasetuksilla Photomatix Pro luo täyden dynamiikka-alueen sisältävän kuvan, jossa histogrammin kumpikaan pääty ei leikkaannu. Kaikki säätimet vaativat valokuvaajalta hieman tutustumista ennen täydellisen lopputuloksen saavuttamista. Jokainen HDR-kuvasarja on yksilöllinen, joten asetuksiin ei löydy tiettyjä ihannearvoja. (Nightingale 2010, 64 - 66.)

Details Enhancer -muunnostavalla saa aikaan dramaattisia ja hyperrealistisia kuvia. Menetelmä maksimoi sävyskaalan tietyillä alueilla, jolloin kuvan jokaiseen yksityiskohtaan jää laaja sävyjakauma alkuperäisten kuvien informaation mukaisesti. Details Enhancer -työkalu sisältää lukuisia liukusäätimiä, jotka voivat aluksi vaikuttaa sekavilta. Kuvassa 21 on esitelty Details Enhancer -työkalu kokonaisuudessaan.



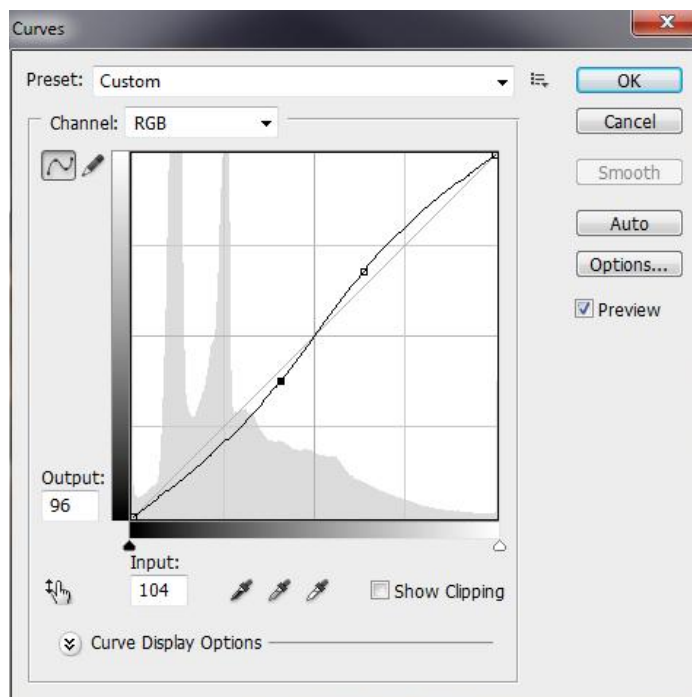
KUVA 21. Photomatix Pron Details Enhancer-työkalu (Steve 2014)

Details Enhancer antaa lukuisine säätimien käyttäjälle hyvin paljon varaa muokata syntyvää kuvaa. Strength-liukusäädin toimii kaikkien muiden työkaluun liittyvien asetusten yleisenä voimakkuussäätimenä. Tällä työkalulla voi siis säätää lopullisen HDR-efektin voimakkuutta kuvassa. Muilla säätimillä voi vaikuttaa muun muassa kuvan valaistukseen, kontrastiin, yksityiskohtien selkeyteen ja kuvan sävykylläisyyteen.

Photomatix Prolla on Photoshopiin verrattuna kaksi merkittävää vahvuutta: HDR-kuvan luonti onnistuu huomattavasti nopeammin ja kuvien kohdistaminen sekä haamukuvien poisto toimii paremmin. Raw-tiedostojen käsittelyyn ei ole kuitenkaan kovin paljoa mahdollisuuksia toisin kuin Photoshopissa. Photomatixilla pystyy kuitenkin luomaan helpommin myös hyperrealistisia kuvia.

4.3 Värisäädöt ja jälkikäsittely

HDR-kuvia on hyvä käsitellä vielä luonnin jälkeen esimerkiksi Photoshopissa tai muussa kuvankäsittelyohjelmassa. Välittömästi tone mapping -muutoksen jälkeen HDR-kuva näyttää yleensä vielä lattealta (kuva 23). Tone mappingilla saatu kuva on usein samea eivätkä kirkkaimmat kohdat erotu selkeästi. Tähän helppo ratkaisu on Photoshopin Curves-työkalu.



KUVA 22. Photoshopin Curves-työkalu (Kuvakaappaus ohjelmasta 2014)

Curves-työkalulla (kuva 22) tehdään säätöjä manuaalisesti kuvan sävyjakaumaan. Työkalulla pystyy muuttamaan kuvan tumman ja vaalean pisteen sekä useita pisteitä tältä väliltä. Pisteet voi sijoittaa minne tahansa alkuperäisen kuvan sävyakselille. Oletuspisteinä ovat oikea yläkulma ja vasen alakulma, jotka vastaavat valkoista ja mustaa pistettä. Näitä liikuttamalla saa kuvan varjoja tummennettua ja huippuvaloja kirkastettua. Käyrän muuttuessa jyrkemmäksi kuvan sävyjakauma laajenee ja yleinen kontrasti kuvassa lisääntyy (kuva 24). (Evening 2009, 292 - 295.)



KUVA 23. HDR-kuva tone mapping-muunnoksen jälkeen (Farbsiel 2012)



KUVA 24. Valmis HDR-kuva jälkikäsittelyn jälkeen (Farbsiel 2012)

Valmiissa HDR-kuvassa esiintyy helposti kohinaa etenkin tummilla alueilla, minkä pystyy helposti korjaamaan. Kohinan syntymistä on helppo välttää jo kuvausvaiheessakin. Vaikka näkymän dynamiikka-alue mahtuisi kolmeen kuvaan, voi kuvia ottaa esimerkiksi yhden lisää sekä vaaleasta että tummasta päästä. Tällöin kuvaan saadaan lisää informaatiota yksityiskohdista ja lopullisen kuvan kohina on vähäisempää. Kohinan poisto onnistuu Photoshopissa sumentamalla tai erilaisilla plug-in apuohjelmilla.

Kohinan lisäksi yleinen HDR-kuvien tone mapping muunnoksissa esiintyvä ongelma ovat haloilmiöt. Erityisesti haloilmiötä syntyy niiden kohteiden ympärille, joiden tausta on paljon vaaleampi. Tällöin kuvaan muodostuu epärealistista hohdetta. Ilmiötä on havainnollistettu kuvassa 25, jossa kuvatun rakennuksen ympärille on muodostunut selkeä hohde. Haloilmiöt ovat etenkin Photomatix Pron ongelma ja niiden muodostumista voi välttää muuttamalla ohjelman Light Smoothing arvoa tone mappingia luodessa. Tämä kuitenkin saattaa tehdä kuvasta lattean ja usein haloilmiötä sisältävä kuva näyttää kuitenkin paremmalta. Tällöin kuva kaipaa jälkikäsitteilyä ja ilmiötä voi korjata esimerkiksi Photoshopin Clone Stamp -työkalulla. (Nightingale 2010, 124.)



KUVA 25. Haloilmiö kuvatun kohteen ympärillä (Melman 2010)

HDR-tyylisiä kuvia voi saada aikaan myös yksittäisestä kuvasta. Photomatix Prolla pystyy tekemään tone map -muunnoksen yhdelle raw-tiedostolle. Vaikka haarukoidusta kuvasarjasta luotu HDR-kuva antaa aina paremman lopputuloksen, voi myös yksittäisen kuvan tone map-muunnos tulla tarpeeseen esimerkiksi liikkuvia kohteita kuvattaessa. Lisäksi tämä on helppo tapa yhdenmukaistaa kuvan sävyjakaumaa ja tasapainottaa kuvan valaistusta. Yksittäisestä kuvasta pystyy myös saamaan esiin enemmän yksityiskohtia.

Jotta yhden kuvan muuttaminen HDR-kuvaksi onnistuisi, tulee näkymän dynamiikka-alueen olla pienempi kuin kameran dynamiikka-alue. Tämä rajoittaa mahdollisuuksia, mutta se on välttämätöntä lopullisen kuvan onnistumiselle.

HDR-tekniikka antaa kuvaajalle myös monenlaisia esteettisiä vaihtoehtoja. Kuvista saa aikaiseksi hyvinkin realistisen näköisiä ja silmän näkemää kohdetta vastaavia kuvia. Toinen ääripää on erittäin surrealistiset kuvat, joissa värit ja hohde ovat hyvin epärealistiset. HDR-kuvista pystyy luomaan sarjakuvamaisia, jolloin kuvat näyttävät usein enemmän tietokonegrafiikalta kuin todelliselta maailmalta. Kuvassa 26 on oikealla hyvin surrealistinen, piirrosmainen HDR-kuva ja vasemmalla erittäin realistinen ja todellista näkymää muistuttava valokuva.



KUVA 26. Realistinen ja surrealistinen HDR-kuva (Jmeyer 2012 ja Liu 2012)

Alunperin HDR-kuvaus on kehitetty ratkaisuksi kennon dynamiikka-alueen tekniselle ongelmalle ja kuvista pyrittiin tekemään fotorealistisia ja todellista maailmaa vastaavia. Nykyään surrealistisempi tyyli on yleistynyt ja HDR-käsitettä käytetään yhä useammin yksinomaan tällaisista kuvista.

5 CASE: HDR-PROSESSI

Tämän case-osion tarkoituksena on havainnollistaa HDR-tekniikan tuomia hyötyjä vaikeissa valokuvauskohteissa. Tarkoituksena on tuottaa kaksi erityyppistä HDR-kuvaa ja käydä läpi kuvien luontiprosessia aiemmin käsitellyn teorian pohjalta.

Kuvauskohteiksi on valittu sekä yöllä että päivällä otettu ulkokuva. Kuville yhteistä on kirkkaan valaistuksen aiheuttama suuri kontrastiero kuvattavassa näkyvässä. Tarkoituksena on tutkia, onko HDR-kuvauksesta hyötyä ja ovatko lopulliset kuvat teknisesti parempia valokuvia kuin yhdellä valotuksella otetut kuvat. Kaikissa kuvissa on myös pyritty mahdollisemman realistiseen lopputulokseen.

Tässä case-osiossa työkaluina on toiminut Nikon D3100 -järjestelmäkamera sekä kuvankäsittelyssä ja kuvien yhdistämisessä Adobe Photoshop CS5. D3100-kamerasta ei löydy automaattista haarukointia, joten kuvat on otettava manuaalista säätöä käyttämällä. Lisäksi kuvattaessa on käytetty jalustaa kuvien tärähtämisen välttämiseksi.

5.1 Yöllinen maisemakuva

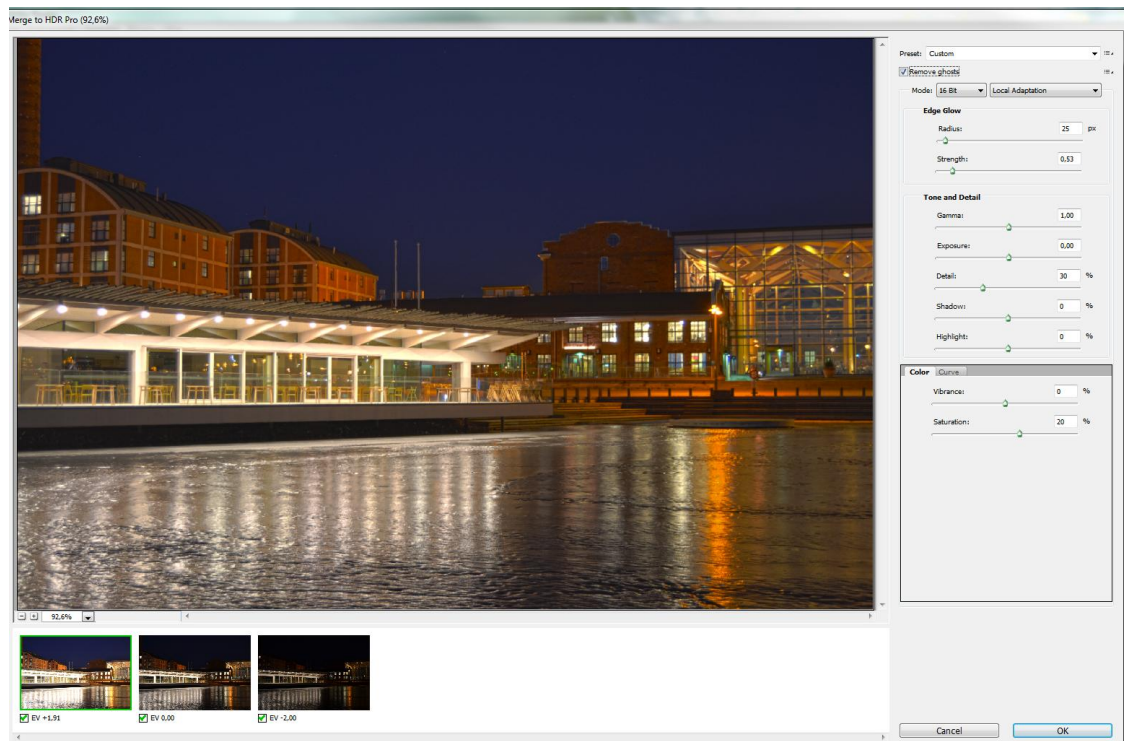
Yokuvaus tuo mukanaan useita haasteita valokuvaajalle. Pimeä ympäristö vaatii pitkiä valotusaikoja, jotta kuvattavat kohteet saadaan esille. Kaupunkiympäristössä katuvalot ja muut lamput ylivalottuvat helposti ja lopullisessa kuvassa näkyy pelkkiä valkeita palloja mustaa taustaa vasten. HDR-kuvauksella yöllisestä maisemasta pystyy saamaan irti huomattavasti enemmän sävyjä.

Kuvauskohteeksi valittiin Lahden satama. Satamassa on runsaasti erilaisia ulkovaloja, jotka valaisevat rakennuksia ja järven jäätynyttä pintaa. Kuvauspäivä 27.3.2014 oli ollut aurinkoinen, joten sää oli selkeä. HDR-kuvan luomista varten on otettu kolme raw-kuvaa 2 EV:n välein (kuva 27). Kuvausprosessin jälkeen valokuvat siirrettiin tietokoneelle ja yhdistettiin Adobe Photoshop -ohjelmassa.



KUVA 27. Kolme kuvaa HDR-kuvan luontia varten (Pakkala 2014)

Kuvassa 28 näkyy Photoshopin Merge to HDR Pro -työkalu. Kuvaan on yhdistetty 3 eri valotusajalla otettua kuvaa. Säättömenetelmäksi on valittu Local Adaption eli paikallinen sovittaminen, joka säättää sävyjä muuntamalla koko kuvan paikallista kirkkausalueetta. Valmis kuva avautuu Photoshopiin ja vaatii vielä hieman jälkikäsittelyä.



KUVA 28. HDR-kuvan luonti Merge to HDR Pro -työkalulla (Pakkala 2014)



KUVA 29. Histogrammin säädöt, kuvakaappaus ohjelmasta (Pakkala 2014)

Curves-työkalulla kuvaan lisätään kevyt s-muotoinen käyrä, joka tuo kuvaan lisää kontrastia. Valmiit HDR-kuvat ovat melko latteita, sillä tekniikalla pyritään tasaamaan kirkkauseroja ja tuomaan yksityiskohtia esiin. Kuvista saa kuitenkin usein näyttävämpiä lisäämällä kontrastia kuvan tummimman ja vaaleimman alueen välille. Lopuksi kuvasta tarkistetaan vielä histogrammi, joka näkyy kuvassa 28. Histogrammin yhteydestä löytyvällä pipettityökalulla on vielä etsitty näkymän valkea piste oikean sävyskaalan aikaansaamiseksi. Tässä tapauksessa valkea väri löytyy etualalla olevan rakennuksen seinästä. Lopuksi kuva tallennetaan jpeg-muodossa myöhempää katselua varten.

Lopullinen HDR-kuva (kuva 29) on näyttävä. Rakennuksien valot ja järvenpinnan heijastukset toistuvat kauniisti ja kuvassa on runsaasti sävyjä. Valokuvaan on saatu taltioitua runsaasti yksityiskohtia ympäristön pimeydestä huolimatta. Yksittäisellä otoksella kuvaajan on keskityttävä joko kuvan kirkkaisiin tai tummiin kohtiin. Tässä tapauksessa esimerkiksi taivas olisi jäänyt helposti täysin mustaksi ilman HDR-tekniikkaa.



KUVA 30. Valmis HDR-kuva (Pakkala 2014)

5.2 Maisemakuva päivänvalossa

Kirkas auringonpaiste aiheuttaa usein hankaluuksia valokuvaajalle. Auringonvalo luo maisemaan jyrkkiä varjoja, ja kirkkaiserot voivat olla hyvinkin suuria. Kuvauskohteeksi valikoitui Vesijärven ranta aurinkoisena kevätpäivänä 29.3.2014. HDR-valokuvaa varten on otettu kolme raw-kuvaa: mitattu valotus sekä +/-2 EV kuvat. Kuvassa 30 käsittelemättömät kolme otosta. Vasemmalla mitattu valotus ja oikealla tumma sekä vaalea kuva. Yksittäisessä kuvassa näkyy selvää leikkaantumista etenkin vaaleissa sävyissä ja taivas on jäänyt kokonaan valkoiseksi. Toisaalta taas rantakivikkoon jää useita täysin mustia alueita.



KUVA 31. HDR-kuvan luontiin käytetyt kuvat (Pakkala 2014)

Ongelmakohtiin sävyjä on löytynyt huomattavasti lisää oikealla näkyvissä heikommin ja runsaammin valaistuissa kuvissa. Kuvaamisen jälkeen kuvat on yhdistetty Photoshopilla 32-bittiseksi HDR-kuvaksi. Tämän jälkeen kuva on muunnettu 16-bittiseen muotoon Local Adaption-tone mappingia käyttämällä. Lopullisessa kuvassa (kuva 31) sävyt ovat kirkkaammat ja varjoalueet piirtyvät kauniisti. Myös taivaan sävyt on saatu taltioitua yksittäiskuvan valkoisuuden sijaan. Kuva on selvästi dynaamisempi kuin yksikään alkuperäisistä yksittäisistä otoksista.



KUVA 32. Valmis HDR-kuva (Pakkala 2014)

Lopputuloksena molempien kuvauskohteiden tapauksessa voidaan todeta, että HDR-tekniikka antaa dynaamisemman lopputuloksen kuin kuvasarjan yksittäinen otos. Molemmissa tapauksissa pyrittiin hyvin luonnolliseen lopputulokseen, joten kuvien välinen ero ei ole kovin dramaattinen. Onnistuneen HDR-kuvan luominen vaatii kuvaajalta huomattavasti enemmän aikaa ja paneutumista kuin yksittäinen otos ja sen tarpeellisuutta eri tilanteissa tulee harkita. Jos kuitenkin pyrkii parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen ja haluaa kuvaan runsaasti kontrastia sekä luonnollisen vaikutelman, on HDR-kuvaus erittäin suositeltava vaihtoehto.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, minkälaisia mahdollisuuksia HDR-valokuvaus tuo valokuvaajalle. Digitaalikameroiden rajoittunut kyky tallentaa näkymän dynamiikka-aluetta aiheuttaa monesti ongelmia. Samaan kuvaan ei saa tallennettua esimerkiksi kirkasta taivasta ja varjoalueiden yksityiskohtia. Kuten tässä opinnäytetyössä on havainnollistettu, antaa HDR-tekniikka valokuvaajalle mahdollisuuden tallentaa kirkkauseroja ihmissilmän näkemällä tavalla. Työssä olennaista olikin tutustua aluksi ihmissilmän ja kameran eroihin ja samankaltaisuuksiin suhteessa valoon.

Teknisesti hyvän HDR-valokuvan tuottaminen on moniulotteinen prosessi. Aluksi kuvaaja tarvitsee laadukkaan kameran kuvien taltioimiseksi. Onnistuakseen kuvaajan täytyy ymmärtää kameran toimintaa ja hallita perusteita paremmat taidot sekä kuvaamisesta että jälkikäsittelystä. Kuvaajalla tulee olla selkeä ymmärrys siitä, mitä dynamiikka tarkoittaa valokuvauksessa ja kuinka esimerkiksi histogrammia lukemalla voidaan varmistua koko dynamiikka-alueen tallentumisesta kuvasarjan otoksiin. Lopuksi kuvaajan täytyy hallita valitsemansa HDR-ohjelma sekä erilaiset kuvankäsittelytyökalut.

Hyvä lopputulos ei aina kuitenkaan riipu pelkästään hyvästä teknisestä toteutuksesta, vaan valokuvauksessa olennaista on myös kuvaajan oma näkemys kuvattavasta kohteesta. Vaikka tässä opinnäytetyössä onkin keskitytty kuvausprosessiin nimenomaan teknisestä näkökulmasta, on luovalla ajattelulla suuri merkitys valokuvauksessa. HDR-ohjelmat antavat valokuvaajalle monenlaisia mahdollisuuksia luoda sekä realistisia että täysin surrealistisia kuvia. Voidaankin todeta, että HDR-valokuvaus antaa kuvaajalle loputtomasti mahdollisuuksia dynaamisten ja värikkäiden kuvien luomiseen.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Evening, M. 2009. Photoshop & Raw valokuvaajille. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo-tuotteet.

Freeman, M. 2009. Valo - aika, aukko & herkkyys. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo-tuotteet.

Karhulahti, M. 2010. RAW työnkulku. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo-tuotteet.

Nightingale, D. 2010. HDR Luoville kuvaajille. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo-tuotteet.

Viljanen, J. Suvanto, T. Karhula, M. 2006. Digikuvan peruskirja. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo-tuotteet.

Elektroniset lähteet:

Simon. 2010. HDR in Photoshop CS5 [viitattu 15.3.2014]. Saatavissa: <http://mundoview.com/wp/2010/05/07/hdr-in-photoshop-cs5/>

Adobe Community Help. 2014. Photoshop/High Dynamic Range -kuvat [viitattu 20.3.2014]. Saatavissa: <http://helpx.adobe.com/fi/photoshop/using/high-dynamic-range-images.html>

Nygren, J. 2014. Näköaisti [viitattu 15.3.2014]. Saatavissa: <http://oppiminen.yle.fi/ihminen/aistit/nakoasti>

Mattila, M. 2008. Bracketing eli haarukointi [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa: http://www.mattimattila.fi/comments/bracketing_eli_haarukointi

Kuvalähteet

Kuva 1: Karhulahti, M. 2006. Kuvaamisen peruskäsitteitä [viitattu 15.3.2014].

Saatavissa: <http://homes.jamk.fi/~karmi/tutoriaalit/Perusteita.htm>

Kuva 2: Wikipedia. 2011. EM Spectrum [viitattu 15.3.2014]. Saatavissa:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrum_fi.svg

Kuva 3: Geog. 2003 [viitattu 15.3.2014]. Saatavissa:

http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/lectures/cameras_films_filter/eyecameraco_mapre.jpg

Kuva 4: Clark, R. 2013. Digital Cameras: Does pixel size matter? [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.clarkvision.com/articles/does.pixel.size.matter/>

Kuva 5: Soon, A. 2012. The Nokia 808 Pureview's 41 Megapixels Explained

[viitattu 15.3.2014]. Saatavissa: <http://www.hardwarezone.com.sg/feature-nokia-808-pureviews-41-megapixels-explained>

Kuva 6: Wikipedia. 2006. Bayer pattern on sensor [viitattu 16.3.2014]. Saatavissa:

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bayer_pattern_on_sensor.svg

Kuva 7: Wili. 2004. Polarisation test 2 [viitattu 16.3.2014]. Saatavissa:

http://www.wilisnetcorner.com/digikamera.net/polarisation_test2.jpg

Kuva 8: Avanquest. 2014. HDR Darkroom 5 PC [viitattu 20.2.2014]. Saatavissa:

<http://www.avanquest.com/UK/software/hdr-darkroom-5-pc-165633>

Kuva 9: Atkins, B. 2013. Canon EOS 60D 18 MP DSLR Review [viitattu 20.2.2014]. Saatavissa:

http://www.bobatkins.com/photography/digital/canon_eos_60D_preview.html ja

Itechnews. 2013. Panasonic LUMIX [viitattu 20.2.2014]. Saatavissa:

<http://www.itechnews.net/wp-content/uploads/2013/04/Panasonic-LUMIX-DMC-LF1-High-end-Compact-Camera-on-hand.jpg>

Kuvat 10 - 12: Photoshopessentials. 2014. How to read an image histogram in Photoshop [viitattu 16.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.photoshopessentials.com/photo-editing/histogram/>

Kuvat 13 ja 14: Fotor. 2014. HDR Sample 2 [viitattu 23.3.2014]. Saatavissa:

http://www.fotor.com/images2/features/hdr/sample_2.jpg

Kuva 15: Stamatiou, P. 2009. How to: Get started with HDR photography [viitattu: 23.3.2014]. Saatavissa:

<http://paulstamatiou.com/how-to-get-started-with-hdr-photography-part-3/>

Kuvat 16: Slagerman, K. 2014. HDR Tutorial [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.slagermanphoto.com/blog/2008/06/16/high-dynamic-range-hdr-tutorial/>

Kuva 17: Cormack, C. 2008. HDR/Tone mapping Comparison [viitattu

29.3.2014]. Saatavissa: <http://www.flickriver.com/photos/cormackc/2381410445/>

Kuvat 18 ja 22: Kuvakaappaus Adobe Photoshop CS5-ohjelmasta. 2014.

Kuvat 19, 20, 27 - 32: Pakkala, M. 2014. Lahden ammattikorkeakoulu.

Kuva 21: Steve. 2014. HDR Shoot out [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.steveluckphotography.co.uk/hdr-shoot-out/>

Kuvat 23 ja 24: Farbspiel. 2012. HDR Cookbook - Before and After [viitattu

20.2.2014]. Saatavissa: <http://farbspiel-photo.com/learn/hdr-before-and-after/before-and-after-rosanou-abbey-meteora-hdr>

Kuva 25: Melman, N. 2010. HDR [viitattu 28.3.2014]. Saatavissa:

http://steelcityphoto.blogspot.fi/2010_06_01_archive.html

Kuva 26: Jmeyer. 2012. Truthful tone mapping [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.digitalcameraworld.com/2012/06/05/truthful-tone-mapping-a-quick-guide-to-realistic-hdr-in-photomatix-pro/> ja Liu, P. 2012. Recent Surrealistic HDR

Photos on Maui [viitattu 29.3.2014]. Saatavissa: <http://peterliu47.com/recent-surrealisti-hdr-photos-on-maui/>