



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας



Katholieke Universiteit Leuven
Faculty of Engineering
Raymond Lemaire International
Centre for Conservation

ΣΥΜΒΟΛΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΥΨΗΛΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ (HIGH DYNAMIC RANGE IMAGES - HDRI) ΣΕ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ



Διπλωματική Εργασία
Ντρέγκα Αντιγόνη

**Επιβλέποντες: (ΕΜΠ) Καθηγητής Ανδρέας Γεωργόπουλος
(KUL) Prof. Mario Santana Quintero**

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος LLP-Erasmus με τη συνεργασία του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου και του Katholieke Universiteit Leuven.

Συνεπιβλέποντες ήταν ο Καθηγητής ΕΜΠ Ανδρέας Γεωργόπουλος και ο Καθηγητής KUL Mario Santana Quintero.

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

***Στους Δημήτρη, Ευαγγελία και Βασιλική
και στη μνήμη της φίλης μου Jolien Thelissen***

Ευχαριστίες

Πριν απ'όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον επιβλέποντά μου Καθηγητή Ανδρέα Γεωργόπουλο, αρχικά για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω μέρος της διπλωματική εργασίας στα πλαίσια του προγράμματος Erasmus και στη συνέχεια για την άπειρη υπομονή, κατανόηση και στήριξη που μου παρείχε όλους αυτούς τους μήνες της προσπάθειάς μου. Η βοήθεια που μου παρείχε σε όλα τα επίπεδα είναι ανεκτίμητη και πιστεύω, τώρα που η πορεία αυτή ολοκληρώνεται, ότι έχω υπάρξει εξαιρετικά τυχερή και κερδισμένη που επέβλεψε αυτή μου την προσπάθεια. Τον ευχαριστώ θερμά για όλα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επίσης επιβλέποντα Καθηγητή Mario Santana Quintero για τη μεγάλη του προθυμία εξαρχής να με βοηθήσει να πραγματοποιήσω μέρος της εργασίας στο KU Leuven και να συμμετέχω στο Master of Conversation of Monuments and Sites του Πανεπιστημίου ως μέλος μίας ομάδας, για την εξαιρετική συνεργασία μας καθώς επίσης και τη συνεχή του πρακτική στήριξη κατά τη διάρκεια της παραμονής μου στο Βέλγιο. Η ευκαιρία που μου έδωσε ήταν πολύ σημαντική καθώς απέκτησα σε ακαδημαϊκό επίπεδο ανεκτίμητη εμπειρία και πολύτιμες γνώσεις.

Πολλές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στις Aziliz Vandesande, Anke Vanquaethoven, Ξένη Σίμου και ιδιαίτερα στον Diederik Van Meirhaeghe, για την πολύ καλή συνεργασία μας ως ομάδα και για τον χρόνο που αφιέρωσαν στις απαιτήσεις της εργασίας μου.

Μεγάλη ευγνωμοσύνη αισθάνομαι για τη Σέβη Ταπεινάκη, καθώς η βοήθειά της υπήρξε παραπάνω από πολύτιμη για ένα πολύ σημαντικό μέρος των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον κύριο Χρήστο Ιωσηφίδη για τη διάθεσή του να με βοηθήσει σε πρακτικά θέματα που αφορούν τις Εικόνες Υψηλού Δυναμικού Εύρους αλλά και τη φωτογραφία γενικότερα καθώς και τον Άγγελο Βενέτη για την παραχώρηση εξαιρετικών εικόνων HDR.

Φυσικά, δεν θα ήταν εύκολο να ολοκληρώσω αυτή την πορεία χωρίς την απεριόριστη ηθική και πολλές φορές πρακτική στήριξη πολύ αγαπημένων μου προσώπων όπως οι φίλες μου Ελένη Διαμαντή και Χριστίνα Γκίντζου και η αδερφή μου Βασιλική Ντρέγκα.

Τέλος, πάνω απ' όλα και με βαθύτατη συγκίνηση και ευγνωμοσύνη θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου γιατί με αυταπάτηση, αφοσίωση, θυσίες και απόλυτη εμπιστοσύνη όλα αυτά τα χρόνια με στηρίζουν με κάθε δυνατό τρόπο. Και όπως σε όλα τα σχολικά και ακαδημαϊκά μου χρόνια έτσι και τους τελευταίους μήνες βρίσκονταν πάντα δίπλα μου, στηρίζοντάς με με διακριτικότητα και υπομονή προκειμένου να μπορέσω να αφοσιωθώ στη διπλωματική μου εργασία και να αντεπεξέλθω σε κάθε στάδιό της, είτε κατά την παραμονή μου στο Βέλγιο είτε στην Αθήνα.

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη της χρησιμότητας των Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (High Dynamic Range – HDR) στις φωτογραμμετρικές εφαρμογές για την καταγραφή της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

Η καταγραφή του δυναμικού εύρους μίας σκηνής – δηλαδή η διαφορά μεταξύ των φωτεινότερων και σκοτεινότερων περιοχών – υπήρξε και εξακολουθεί να είναι για τους φωτογράφους (επαγγελματίες ή μη) ένα σημαντικό ζητούμενο. Σε σκηνές με μεγάλο δυναμικό εύρος είναι αδύνατο με μία λήψη να γίνει καταγραφή ολόκληρης της σκηνής χωρίς ορισμένες περιοχές να εμφανίζονται περισσότερο σκοτεινές ή φωτεινές απ' όσο είναι το ζητούμενο, με αποτέλεσμα χάσιμο πληροφορίας και στις δύο περιπτώσεις. Η αδυναμία καταγραφής του δυναμικού εύρους από το αναλογικό φιλμ παλιότερα και από τον ψηφιακό αισθητήρα σήμερα, έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση ποικίλων λύσεων.

Η πιο σύγχρονη λύση στην ψηφιακή καταγραφή, που μπορεί να εξυπηρετήσει την πλειονότητα των περιπτώσεων, είναι οι εικόνες HDR οι οποίες δημιουργούνται από τη συνένωση πολλών εικόνων της ίδιας σκηνής. Η κάθε μία από τις εικόνες αυτές περιέχει διαφορετική ποσότητα φωτός και άρα διαφορετικές περιοχές της σκηνής είναι ορθά φωτισμένες κάθε φορά. Τελικό παράγωγο είναι μία εικόνα με ισορροπημένη φωτεινότητα όπου υπάρχει πληροφορία και υφή σε όλες τις περιοχές της, χωρίς να έχουν χαθεί λεπτομέρειες λόγω κακών φωτιστικών συνθηκών.

Σε όλες τις φωτογραμμετρικές εφαρμογές, η ποιότητα των εικόνων είναι ένα θέμα μεγάλης σημασίας για το τελικό αποτέλεσμα. Ειδικά σε εφαρμογές τεκμηρίωσης Πολιτιστικής Κληρονομιάς που κατά τη λήψη των εικόνων πολύ συχνά οι φωτιστικές συνθήκες είναι δυσχερείς, η τεχνολογία HDR μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση των εικόνων και άρα στην παραγωγή τελικών εικονιστικών προϊόντων χωρίς προβλήματα φωτισμού.

Στην παρούσα εργασία, η χρησιμότητα των εικόνων HDR σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές αναδεικνύεται μέσα από αναλυτική αναφορά στην τεχνολογία HDR και τα σημαντικά πλεονεκτήματά της καθώς και μέσα από σχετικά παραδείγματα. Επιπλέον, πραγματοποιείται ένας απαραίτητος έλεγχος για να διαπιστωθεί κατά πόσο οι εικόνες HDR είναι αξιόπιστες μετρητικά. Τέλος, παρουσιάζεται μία εφαρμογή παραγωγής ορθοφωτογραφιών με εικόνες κανονικές και HDR η οποία με τη σειρά της αναδεικνύει τη χρησιμότητα των εικόνων HDR στις συγκεκριμένες εφαρμογές. Αντικείμενο της εφαρμογής είναι η βόρεια γαλαρία του Καθολικού Ναού του Αγίου Φραγκίσκου – Ξαβέριου στο Anderlecht των Βρυξελλών.

National Technical University of Athens, Greece
School of Rural and Surveying Engineering

***Investigation on the Use of High Dynamic Range Images for Photogrammetric
Applications of Cultural Heritage Documentation***

Antigoni Ntregka

Diploma Thesis

October 2012

Abstract

Basic goal of this diploma thesis is to highlight the usefulness of High Dynamic Range Images for photogrammetric applications of Cultural Heritage Documentation.

The recording of the dynamic range of a scene – the difference in light between the brightest and the darkest parts - has always been of great importance for professional and amateur photographers. Scenes with high dynamic range is impossible to be recorded without loss of details and texture in dark areas (due to underexposure) and in bright areas (due to overexposure). This limitation of the analogue film in the past and of the digital sensor nowadays resulted in the pursuit of many solutions.

The most recent and effective solution in digital recording, suitable for the majority of cases, is High Dynamic Range Images (HDRI). These images are created by merging multiple images of the same scene, each of which has been taken with different exposure and thus contains different areas exposed in the right way. The final product is an image balanced, concerning the light, where there is information in every part of it without loss of details due to bad lighting conditions.

In all photogrammetric applications, the quality of the images is a very important issue for the final product. Especially for applications of Cultural Heritage Documentation, where during the photo shooting lighting conditions are difficult, HDR technology can contribute to the creation of better images and as a result, to the creation of final images with no lighting problems.

In this thesis, the usefulness of HDR images is highlighted through the detailed reference of HDR technology and relevant examples. In addition, their geometric quality is also examined through an important investigation in order to ensure that they can be used for photogrammetric purposes. Finally, an application is described with derivables two orthophotographs, one made of normal images and the other made of HDR images. The subject of the orthophotographs is the north gallery of Saint Francis Xavier Church in Anderlecht, Brussels.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ.9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	σελ.11
2.1 Η φύση του φωτός.....	σελ. 11
2.2 Το δυναμικό εύρος.....	σελ. 12
2.3 Φωτομέτρηση.....	σελ. 13
2.4 Ιστόγραμμα.....	σελ. 13
2.5 Καταγραφή του δυναμικού εύρους.....	σελ. 15
2.6 Εμφάνιση του δυναμικού εύρους.....	σελ. 16
2.7 Παραδείγματα μη καταγραφής και μη απόδοσης του δυναμικού εύρους.....	σελ. 17
2.8 Λύσεις στην ψηφιακή φωτογραφία.....	σελ. 20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΛΗΨΕΙΣ ΥΨΗΛΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ.....	σελ. 26
3.1 Ιστορικά στοιχεία εικόνων υψηλού δυναμικού εύρους.....	σελ. 26
3.1.1 Η συνδυασμένη εκτύπωση (combination printing).....	σελ. 26
3.1.2 Συσκότιση και Εκφώτιση (Dodging and Burning).....	σελ. 28
3.1.3 Το φιλμ υψηλού δυναμικού εύρους του Charles Wyckoff.....	σελ. 28
3.1.4 Το Ζωνικό Σύστημα (Zone System) του Ansel Adams.....	σελ. 29
3.2 Οι Εικόνες Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR).....	σελ. 32
3.2.1 Η διαδικασία δημιουργίας εικόνων HDR.....	σελ. 37
3.2.1.1 Λήψη εικόνων διαφορετικών εκθέσεων.....	σελ. 37
3.2.1.2 Δημιουργία εικόνας HDR με συγχώνευση των πολλαπλών λήψεων.....	σελ. 40
3.2.1.3 Χαρτογράφηση τόνων (tone mapping) της εικόνας HDR.....	σελ. 41
3.3 Λογισμικά δημιουργίας εικόνων HDR.....	σελ. 44
3.3.1 Δημιουργώντας μία εικόνα HDR.....	σελ. 45
3.3.2 Αρχεία raw: προεπεξεργασία και “ψευδο-HDR”.....	σελ. 49
3.4 Αρχεία HDR.....	σελ. 50
3.5 Ραδιομετρικά προβλήματα των εικόνων HDR.....	σελ. 51
3.6 Εφαρμογές.....	σελ. 52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ HDR.....	σελ. 59
4.1 Η συμβολή των εικόνων HDR σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές για την καταγραφή της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.....	σελ. 59
4.2 Γεωμετρικός έλεγχος εικόνων HDR.....	σελ. 65
4.2.1 Η αναγκαιότητα του ελέγχου.....	σελ. 65
4.2.2 Η διαδικασία της βαθμονόμησης.....	σελ. 65
4.2.3 Αποτελέσματα – συμπεράσματα.....	σελ. 68
4.3 Τρισδιάστατη Χαρτογράφηση Κινδύνων σε Εφαρμογές Πολιτιστικής Κληρονομιάς (3D Risk Mapping in Heritage Study Case).....	σελ. 69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΗΨΕΩΝ HDR.....	σελ. 72
5.1 Εισαγωγή.....	σελ. 72
5.2 Γενικές πληροφορίες της περιοχής.....	σελ. 72
5.3 Ο ναός του Αγίου Φραγκίσκου Ξαβεριού.....	σελ. 75
5.4 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων για παραγωγή ορθοφωτογραφιών.....	σελ. 79

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

5.4.1 Αναγνώριση της περιοχής μελέτης.....	σελ. 79
5.4.2 Προγραμματισμός Λήψεων – Λήψεις εικόνων.....	σελ. 80
5.4.3 Το νέφος σημείων.....	σελ. 82
5.4.3.1 Τοπογραφικές μετρήσεις.....	σελ. 82
5.4.3.2 Σαρώσεις.....	σελ. 85
5.4.3.3 Επεξεργασία δεδομένων και τελικό παράγωγο σαρώσεων.....	σελ. 86
5.4.4 Δημιουργία Εικόνων HDR.....	σελ. 87
5.4.5 Δημιουργία Ορθοφωτογραφιών.....	σελ. 89
5.4.6 Αξιολόγηση και σύγκριση τελικών ορθοφωτογραφιών.....	σελ. 90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ.....	σελ. 94
---	----------------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ. 95
--------------------------	----------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΕΙΚΟΝΕΣ.....	σελ. 98
----------------------------------	----------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΠΙΝΑΚΕΣ.....	σελ. 102
----------------------------------	-----------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ HDR.....	σελ. 104
--	-----------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	σελ. 106
--	-----------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως δυναμικό εύρος μίας εικόνας που απεικονίζει μια σκηνή ορίζεται το εύρος μεταξύ των φωτεινότερων και σκοτεινότερων περιοχών της. Στη φωτογραφική τεχνική το δυναμικό εύρος μετριέται, μεταξύ άλλων, με Τιμές Έκθεσης (Exposure Values – EV) που εκφράζουν τη φωτεινότητα μίας σκηνής. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να καταγράψει δυναμικό εύρος έως 24EV. Αυτό μπορεί κανείς να το διαπιστώσει, για παράδειγμα, όταν βρίσκεται σε ένα σκοτεινό δωμάτιο στο οποίο το φως έρχεται από ένα παράθυρο και μπορεί να διακρίνει λεπτομέρειες τόσο στον εξωτερικό χώρο όσο και μέσα στο δωμάτιο. Αν κάποιος επιχειρούσε να φωτογραφήσει μία τέτοια σκηνή ακόμα και με την καλύτερη σήμερα ψηφιακή κάμερα, το αποτέλεσμα δεν θα ήταν ίδιο με αυτό που βλέπει το ανθρώπινο μάτι. Έτσι, ο εξωτερικός χώρος θα εμφανιζόταν υπερφωτισμένος (“καμμένος”) χωρίς λεπτομέρεια, ενώ το δωμάτιο θα ήταν σκοτεινό. Η αδυναμία αυτή οφείλεται στην τεχνολογία του ψηφιακού αισθητήρα ο οποίος δύναται να καταγράψει ένα συγκεκριμένο εύρος φωτεινότητας (5-9EV) ενώ μεγαλύτερη καταγραφή εύρους οδηγεί σε μεγαλύτερη εισαγωγή θορύβου.

Εκτός από μία σειρά λύσεων που αφορούν τόσο στη λήψη των εικόνων (π.χ. χρήση φίλτρων ουδέτερης πυκνότητας) όσο και στη μεταεπεξεργασία τους (π.χ. επέμβαση στο ιστόγραμμα των εικόνων) τις δύο τελευταίες δεκαετίες - με αποκορύφωμα τα πολύ πρόσφατα χρόνια - έχει αναπτυχθεί μία ιδιαίτερη μέθοδος για την αντιμετώπιση του προβλήματος, η μέθοδος Απεικονίσεων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (High Dynamic Range Imaging – HDR). Με τη μέθοδο αυτή, εικόνες διαφορετικών εκθέσεων του ίδιου αντικειμένου συγχωνεύονται σε μία με αποτέλεσμα μία εικόνα που τελικά περιέχει πολύ μεγαλύτερο δυναμικό εύρος από μία συμβατική λήψη. Οι εικόνες αυτές λαμβάνονται διαδοχικά με αυτόματη αλλαγή του ανοίγματος του διαφράγματος ή και της ταχύτητας κλείστρου, οι οποίες είναι και οι βασικές παράμετροι που τελικά καθορίζουν την έκθεση κάθε εικόνας. Η τελικώς παραγόμενη εικόνα δημιουργείται σε ειδικά λογισμικά τα οποία ουσιαστικά εκμεταλλεύονται όλες τις επί μέρους πληροφορίες φωτεινότητας και λεπτομερειών που περιλαμβάνονται στις αρχικές εικόνες. Βεβαίως, οι περιορισμοί που αφορούν το δυναμικό εύρος δεν περιορίζονται μόνο στην καταγραφή αλλά εξίσου και στην εμφάνιση και εκτύπωση. Καθώς λοιπόν τα σύγχρονα μέσα εμφάνισης δεν μπορούν να εμφανίσουν το μεγάλο δυναμικό εύρος μίας εικόνας HDR, τελικά η εικόνα επιδέχεται μία επεξεργασία γνωστή ως χαρτογράφηση τόνων (tone mapping) όπου το δυναμικό εύρος τελικά συμπιέζεται σε λίγες ψηφιακές τιμές που μπορούν να εμφανιστούν ή να εκτυπωθούν. Τελικό παράγωγο είναι μία χαμηλού εύρους χαρτογραφημένη τονικά (Low Dynamic Range tonemapped) εικόνα που όμως περιέχει μεγαλύτερο εύρος από μία κανονική λήψη ενώ φέρει πληροφορίες λεπτομερειών και υψής σε όλες τις περιοχές της.

Τα πλεονεκτήματα των εικόνων HDR (ή LDR tonemapped με μεγαλύτερη ακρίβεια) τις καθιστούν χρήσιμες σε μία σειρά εφαρμογές καλλιτεχνικές, γραφικά υπολογιστών, επιστημονικές κ.ά. Ένας τομέας που μπορεί ενδεχομένως να επωφεληθεί από την τεχνολογία HDR είναι η Φωτογραμμετρία ως κατ' εξοχήν μέθοδος δημιουργίας εικονιστικών προϊόντων. Η παρούσα διπλωματική εργασία καταπιάνεται με την διερεύνηση για την αξιοποίηση των λήψεων HDR για τις φωτογραμμετρικές εφαρμογές στην καταγραφή της Πολιτιστικής Κληρονομιάς και ειδικότερα τα ακίνητα μνημεία. Τα ακίνητα μνημεία έχουν σημαντικές ιδιαιτερότητες και απαιτήσεις ως προς τη φωτογράφησή τους. Η μη δυνατότητα παραμονής μεγάλου και προεπιλεγμένου πάντα χρόνου ώστε να γίνουν λήψεις με ιδανικό φυσικό φως, η μη δυνατότητα παρέμβασης στο φως με τρόπους και μέσα που μπορεί να επιβαρύνουν το μνημείο, αντικειμενικές ιδιαιτερότητες που αφορούν την αρχιτεκτονική τους μορφή και δημιουργούν σκηνές μεγάλου δυναμικού εύρους και μία σειρά άλλων χαρακτηριστικών τα καθιστούν πολλές φορές ιδιαίτερα δύσκολα αντικείμενα για φωτογράφιση. Παράλληλα όμως, οι απαιτήσεις για τις εικόνες είναι πολύ μεγάλες. Από τη μία υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας, καθώς από τα φωτογραμμετρικά παράγωγα εξάγονται μετρητικές πληροφορίες, και από την άλλη απαιτήσεις υψηλής εικονιστικής – ποιοτικής πληροφορίας, όπως καταγραφή παθολογιών, υγρασίας, υλικών

κ.τ.λ. Ένα εικονιστικό παράγωγο το οποίο ανταποκρίνεται και στις δεύτερες απαιτήσεις μπορεί να υποστηρίξει με εξαιρετικά πολύτιμο τρόπο εργασίες αποκατάστασης αλλά και μόνο τεκμηρίωσης για μελλοντική εργασία και εκμετάλλευση. Συνεπώς, οι εμπλεκόμενοι με τη φωτογραμμετρία (τοπογράφοι κυρίως αλλά και αρχιτέκτονες) καλούνται να κατέχουν τεχνογνωσία προκειμένου σε κάθε στάδιο παραγωγής μίας εικόνας να έχουν το καλύτερο δυνατό ποιοτικό αποτέλεσμα. Σε καμία περίπτωση, ακόμα και η καλύτερη ποιοτικά εικόνα, δεν μπορεί να αντικαταστήσει την επιτόπου μελέτη π.χ. της κατάστασης ενός μνημείου. Μπορεί όμως να είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο εικονιστικής αρχειοθέτησης αυτής της γνώσης και ένα υπόβαθρο για περαιτέρω μελέτη και εκμετάλλευση.

Η παρούσα διπλωματική στοχεύει κύρια στην ανάδειξη των πλεονεκτημάτων των εικόνων HDR και στη συμβολή που μπορούν να έχουν στις φωτογραμμετρικές εφαρμογές για την καταγραφή της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Στο δεύτερο κεφάλαιο μετά την εισαγωγή αναπτύσσονται όλες οι βασικές φυσικές και τεχνολογικές έννοιες που σχετίζονται με το δυναμικό εύρος προκειμένου. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η τεχνολογία HDR, στο τέταρτο αναδεικνύεται η συμβολή που μπορούν να έχουν οι εικόνες HDR σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές για την καταγραφή Πολιτιστικής Κληρονομιάς και παρουσιάζεται διεξοδικά γεωμετρικός έλεγχος που έγινε σε εικόνες HDR προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η διαδικασία δημιουργίας τους εισάγει σφάλματα και αλλοιώνει τη γεωμετρία των πρωτογενών εικόνων. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά εφαρμογή παραγωγής ορθοφωτογραφιών τόσο με εικόνες κανονικών λήψεων όσο και με εικόνες HDR. Αντικείμενο των ορθοφωτογραφιών είναι η βόρεια γαλαρία του Ναού του Αγίου Φραγκίσκου – Ξαβέριου στο Anderlecht των Βρυξελλών. Μέρος της εφαρμογής αυτής πραγματοποιήθηκε το εαρινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2010-2011 στο πλαίσιο του προγράμματος LLP-Erasmus με συνεργασία του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου και του Katholieke Universiteit Leuven του Βελγίου. Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με συμπερασματικά σχόλια στο 6ο κεφάλαιο.

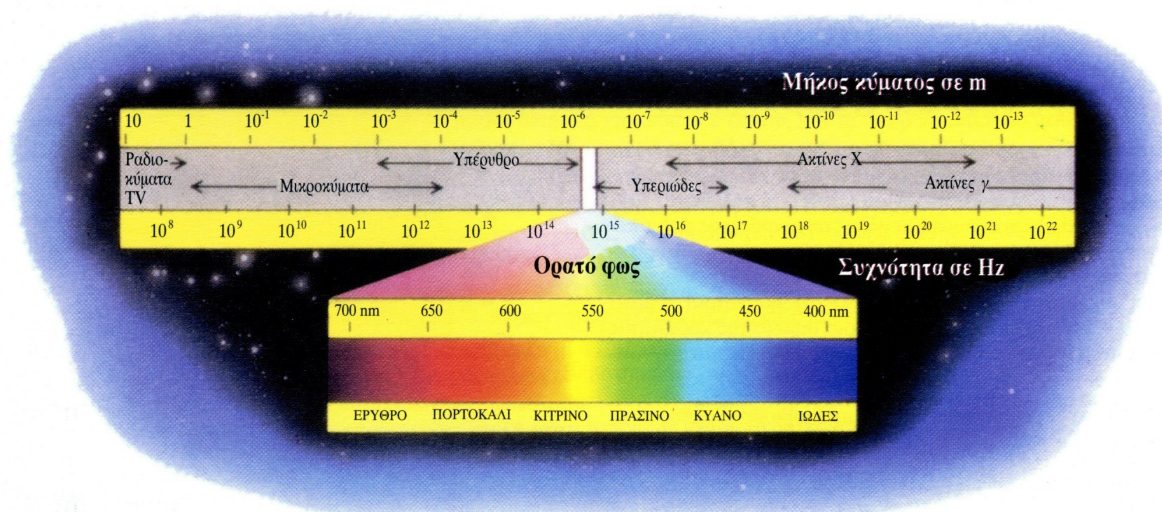
Καλό θα ήταν να σημειωθεί εδώ ότι διεθνώς ο όρος “εικόνες HDR” χρησιμοποιείται καταχρηστικά για την αναφορά σε εικόνες LDR tonemapped και όχι για τις εικόνες HDR πριν την επεξεργασία του tonemapping. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται η ίδια σύμβαση εκτός εάν αναφέρεται καθαρά κάτι διαφορετικό.

Τέλος, πολλοί όροι αναφέρονται αρχικά σε ελληνικά και αγγλικά αλλά στη συνέχεια διατηρείται η αγγλική ορολογία εάν δεν υπάρχει επίσημη αντίστοιχη ελληνική απόδοση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1 Η φύση του φωτός

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι το εύρος στο οποίο εκτείνεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και χωρίζεται με σχετικά αυθαίρετα και πολλές φορές ασαφή όρια σε τμήματα ανάλογα με τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν κάθε τμήμα του. Εκτείνεται από τα μικρά μήκη κύματος, δηλαδή από τις ακτίνες γ (μήκος κύματος από 10^{-23}m) και φτάνει έως τα μεγάλα μήκη κύματος, δηλαδή τα ραδιοκύματα (μήκος κύματος έως 10^8m). Το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος το οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται μέσω της αίσθησης της όρασης είναι το ορατό φως.



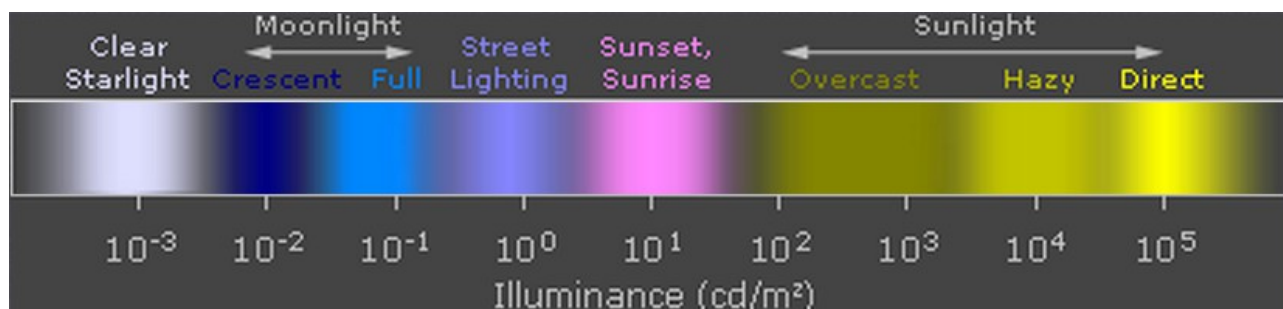
Εικόνα 2.1: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
(Φυσική, τόμος Β', Hugh D. Young, 1994)

Το τμήμα του ορατού φωτός, όπως φαίνεται και στην εικόνα, περιλαμβάνει μήκη κύματος από 4 έως $7 \times 10^{-7} \text{ m}$. Η αίσθηση του χρώματος προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι τις υποπεριοχές του ορατού φωτός. Για παράδειγμα, ηλεκτρομαγνητικό κύμα μήκους $4,8\text{-}5,6 \times 10^{-7} \text{ m}$ (τα όρια είναι προσεγγιστικά) προκαλεί στο μάτι την αίσθηση του πράσινου χρώματος. (Young, 1994)

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια, ένα μέρος αυτής διαδίδεται μέσω της επιφάνειας, ένα μέρος απορροφάται από την επιφάνεια και ένα άλλο ανακλάται. Το ανακλώμενο φως είναι τελικά αυτό που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι και καταγράφει το φιλμ στην αναλογική φωτογραφική μηχανή ή ο αισθητήρας στην ψηφιακή. (Adams, 1981) Εξαίρεση αποτελούν τα αυτόφωτα σώματα τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολία και αυτή είναι που καταγράφεται. Το ποσό της ανακλώμενης ακτινοβολίας από ένα σώμα ή πιο απλά η φωτεινότητά του μετρείται σε cd/m^2 (candela per square meter).

2.2 Το δυναμικό εύρος

Το δυναμικό εύρος, δηλαδή το εύρος φωτεινότητας των αντικειμένων στη φύση είναι τεράστιο. Μία ξάστερη νύχτα έχει φωτεινότητα 10^{-3} cd/m² ενώ μία τυπική ηλιόλουστη μέρα 10^6 cd/m². (Banterle et. al, 2011) Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται η φωτεινότητα διαφόρων σκηνών στη φύση.



Εικόνα 2.2: Το εύρος φωτεινοτήτων στη φύση
(cambridgeincolour.com)

Στη φωτογραφική τεχνική το δυναμικό εύρος μετριέται συνήθως σε Τιμές Έκθεσης (Exposure Values – EV). Μετριέται επίσης σε f-stops ή σε bits και ισχύει 1 EV=1 f-stop=1 bit. Αντίθεση 1024:1 σημαίνει 10 f-stops ή 10 bits (2^{10}) ή 10EV. (davewilsonphotography.com)

Το EV είναι ένας καθαρός αριθμός και στη φωτογραφία υποδηλώνει την ποσότητα του φωτός που καταλήγει στον αισθητήρα. Πρόκειται για το αποτέλεσμα συνδυασμού ανοίγματος διαφράγματος και ταχύτητας κλείστρου. (Adams, 1981)

Το άνοιγμα διαφράγματος (aperture) ορίζεται ως ο λόγος της εστιακής απόστασης του φακού προς την διάμετρο του ανοίγματος. Το διάφραγμα καθορίζει την ποσότητα φωτός που διέρχεται από τον φακό και μετριέται σε f/ ή f-stop. Μείωση κατά ένα stop του διαφράγματος σημαίνει κατά το μισό μείωση του εμβαδού του ανοίγματος του διαφράγματος και αντίστοιχα μείωση κατά το μισό της ποσότητας του εισερχόμενου φωτός. Οι πιο συνηθισμένες τιμές στις οποίες μπορούν να ρυθμιστούν οι περισσότερες φωτογραφικές μηχανές είναι: f/1.2, f/1.4, f/1.8, f/2, f/2.4, f/2.8, f/4, f/5.6, f/8 κ.ο.κ. Η ταχύτητα κλείστρου (shutter speed) είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το κλείστρο της μηχανής παραμένει ανοιχτό για να πραγματοποιηθεί μία λήψη και μετριέται σε δευτερόλεπτα. Μεγαλύτερη ταχύτητα σημαίνει ότι το κλείστρο παραμένει λιγότερο χρόνο ανοιχτό. Οι συνηθισμένες τιμές σε δευτερόλεπτα είναι 8, 4, 2, 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/15, 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/4000, 1/8000. Για ευκολία, ταχύτητα π.χ. 1/250 αναφέρεται απλώς ως 250. (Γεωργόπουλος κ.ά. 2003)

Ένας αριθμός EV μπορεί να προκύψει από διαφορετικούς συνδυασμούς διαφράγματος και ταχύτητας για συγκεκριμένη κάθε φορά ευαισθησία ISO. Ενδεικτικά, ο αριθμός EV που αντιστοιχεί σε μία ξάστερη νύχτα είναι -6 και σε μία μέρα με έντονη λιακάδα 16 EV. Με όρους αντίθεσης, η αντίθεση σε φυσικές σκηνές μπορεί να ξεπεράσει το 1:100000. (usa.canon.com)

2.3 Φωτομέτρηση

Η μέτρηση του ανακλώμενου φωτός μίας σκηνής γίνεται με τη διαδικασία της φωτομέτρησης και τη βοήθεια φωτόμετρων. Το φωτόμετρο μετράει την ποσότητα του ανακλώμενου φωτός και με βάση αυτή τη μέτρηση γίνεται η επιλογή κατάλληλου ανοίγματος διαφράγματος και κατάλληλης ταχύτητας κλείστρου, δηλαδή επιλογή της κατάλληλης έκθεσης για τις συνθήκες φωτισμού που επικρατούν στη σκηνή σύμφωνα με την ένδειξη του φωτόμετρου. (Adams, 1981) Με τη φωτομέτρηση TTL (through-the-lens) υπάρχει η δυνατότητα η φωτομέτρηση να γίνεται μέσα από την ίδια την κάμερα, χωρίς εξωτερικό φωτόμετρο, είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα. (wikipedia.org)

Κατά τη φωτομέτρηση, το φωτόμετρο μετράει το φως που δέχεται από όλη τη σκηνή και εξάγει ένα μέσο όρο. Αυτό όμως συνήθως δεν έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και κυρίως σε σκηνές με πολύ μεγάλη αντίθεση, δηλαδή πολύ μεγάλο δυναμικό εύρος. Ο λόγος είναι ότι κάθε αντικείμενο έχει τη δική του φωτεινότητα (δηλαδή τη δική του έκθεση) και με την εξαγωγή μέσου όρου, αυτές οι διαφοροποιήσεις δεν καταγράφονται με αποτέλεσμα τα αντικείμενα να εκτίθενται και τελικά να φαίνονται στη φωτογραφία λάθος φωτισμένα.

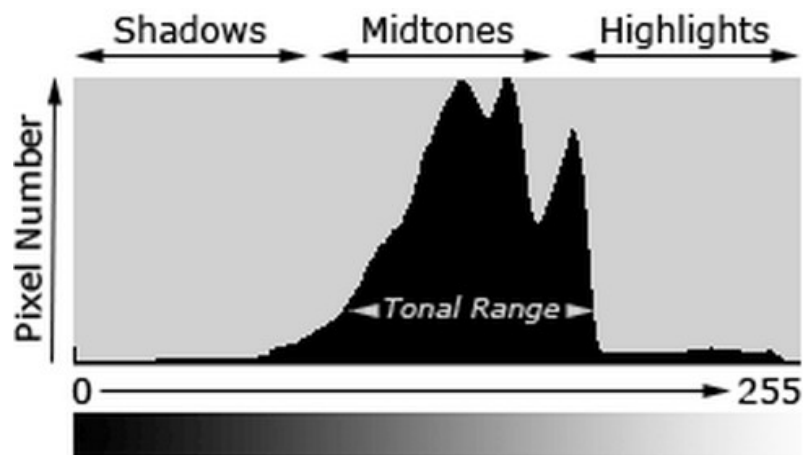
Για παράδειγμα, ένα αντικείμενο ανακλαστικότητας 4% θα επηρεάσει διαφορετικά τον τελικό μέσο όρο σε μία σκηνή με συνολική ανακλαστικότητα 20% και διαφορετικά σε μία σκηνή με συνολική ανακλαστικότητα 12%. Τα φωτόμετρα είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε από προεπιλογή να θεωρούν ως μέση φωτεινότητα σε μία σκηνή την φωτεινότητα αντικειμένων ανακλαστικότητας 18%. Αποτέλεσμα, όσα είναι πάνω από αυτή την ποσότητα να υπερεκτίθενται και όσα είναι κάτω από αυτή την ποσότητα να υποεκτίθενται. (Adams, 1981)

Οι αλγόριθμοι εξαγωγής μέσου όρου στην ψηφιακή φωτογραφία μπορεί να λαμβάνουν υπ' όψη είτε το κέντρο βάρους του φωτός σε μία σκηνή, είτε μετρήσεις από πολλά σημεία της σκηνής είτε από ένα σημείο. Σε κάθε περίπτωση, οι πιθανότητες το αποτέλεσμα να μην είναι ικανοποιητικό και τα αντικείμενα να μην εμφανιστούν σωστά φωτισμένα, είναι σημαντικές. Η φωτομέτρηση είναι επίσης σημαντική για την εξισορρόπηση λευκού και ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού που επικρατούν κάθε φορά, μπορεί να γίνει επιλογή από τον ίδιο τον χρήστη των σχετικών παραμέτρων. (cambridgeincolour.com)

2.4 Ιστόγραμμα

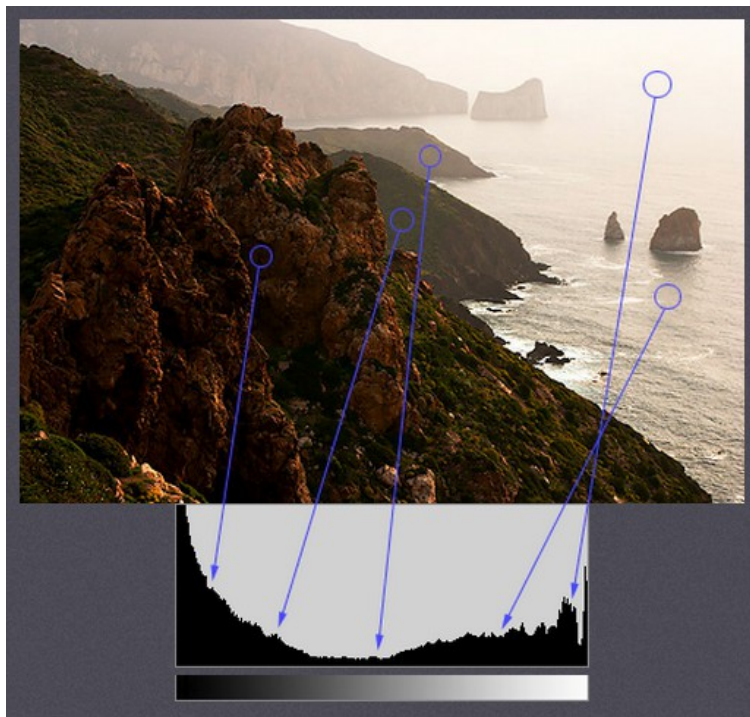
Μία πολύ σημαντική γνώση στο θέμα του δυναμικού εύρους είναι η κατανόηση του ιστογράμματος μίας εικόνας. (Nightingale, 2012)

Το ιστόγραμμα είναι ένα διάγραμμα το οποίο στον άξονα Χ έχει τους τόνους (256 για εικόνες βάθους 8-bit ανά χρώμα) της φωτεινότητας και στον άξονα Υ έχει τον αριθμό των pixels που αντιστοιχούν σε κάθε τόνο. Η περιοχή που εμφανίζονται τα περισσότερα pixels ονομάζεται εύρος τόνων (tonal range).



Εικόνα 2.3: Ιστόγραμμα
(cambridgeincolour.com)

Η μορφή του ιστογράμματος δίνει πολλές πληροφορίες σχετικά με την εικόνα. Ιστόγραμμα μετατοπισμένο προς τα δεξιά ανήκει σε εικόνα με ανοιχτούς τόνους (high key image), το αντίστροφο ισχύει για ιστογράμμο μετατοπισμένο προς τα αριστερά (low key image). Επίσης, μία εικόνα με ιστογράμμο όπου τα περισσότερα pixels είναι συγκεντρωμένα σε μία στενή περιοχή του ιστογράμματος έχει χαμηλή αντίθεση, δηλαδή λίγους τόνους ενώ όσο πιο εκτεταμένο είναι το ιστογράμμο τόσο πιο μεγάλη αντίθεση έχει μία εικόνα και άρα πιο μεγάλο δυναμικό εύρος έχει η σκηνή. (cambridgeincolour.com)



Εικόνα 2.4: Εικόνα με μεγάλο δυναμικό εύρος και το ιστογράμμά της
(cambridgeincolour.com)

Στις ψηφιακές μηχανές μπορεί κανείς επιτόπου να ελέγξει το ιστόγραμμα μίας εικόνας. Ο έλεγχος αυτός είναι πολύ σημαντικός καθώς δίνεται η δυνατότητα να διαπιστωθεί επί τόπου το δυναμικό εύρος της σκηνής που φωτογραφίζεται και να ρυθμιστεί η έκθεση των λήψεων. Επιπλέον, το ιστόγραμμα είναι εξαιρετικά σημαντικό στην μεταεπεξεργασία της εικόνας. Στις ψηφιακές εικόνες υπάρχει η δυνατότητα να δει κανείς όχι μόνο το ιστόγραμμα φωτεινότητας αλλά και το ιστόγραμμα κάθε χρώματος εκ των βασικών Red Green Blue ξεχωριστά. (Nightingale, 2012)

2.5 Καταγραφή του δυναμικού εύρους

Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να καταγράψει πολύ μεγάλο δυναμικό εύρος το οποίο με την προσαρμογή της ίριδας στις συνθήκες φωτισμού φτάνει τα 24EV. Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως με τον αισθητήρα της ψηφιακής κάμερας. (Nightingale, 2012)

Όπως είναι γνωστό, ο αισθητήρας μίας ψηφιακής κάμερας είναι φτιαγμένος από πυρίτιο και αποτελείται από μικρότερα στοιχεία που ονομάζονται sels (sensor elements), τα οποία καταγράφουν το εισερχόμενο σε αυτά φως το οποίο προσπίπτει σε αυτά με τη μορφή φωτονίων. Θεωρητικά, το δυναμικό εύρος που καταγράφει ένα sel θα μπορούσε να ειπωθεί ότι είναι ο λόγος του συνολικού αριθμού φωτονίων προς τη μονάδα του φωτός, το φωτόνιο. Άρα ένα sel που καταγράφει 1000 φωτόνια έχει αντίθεση 1000:1. Εάν το sel “πλημμυρίσει” από φωτόνια δεν θα είναι δυνατό να ξεχωρίσει την πληροφορία από όλα τα εισερχόμενα φωτόνια αλλοιώνοντας το επίπεδο λευκού (white level) της εικόνας. Συνεπώς όσο μεγαλύτερα sels περιέχει ένας αισθητήρας, τόσο μεγαλύτερο εύρος καταγράφει και άρα οι μηχανές SLR καταγράφουν μεγαλύτερο εύρος από τις μηχανές compact λόγω του ότι συνήθως αυτές έχουν μεγαλύτερα sels στον αισθητήρα. Στην πραγματικότητα όμως τα sels δεν μετρούν φωτόνια και έτσι το δυναμικό εύρος επηρεάζεται από το επίπεδο μαύρου (black level) όπου είναι η σκοτεινότερη περιοχή της εικόνας στην οποία περιέχεται πληροφορία υψής. (cambridgeincolour.com)

Επιπλέον, ούτε η αύξηση της ευαισθησίας του αισθητήρα εξασφαλίζει καταγραφή μεγαλύτερου δυναμικού εύρους, καθώς παράλληλα αυξάνεται ο εισαγόμενος θόρυβος που μειώνει το δυναμικό εύρος. Κατά συνέπεια πολλές φορές προτιμάται μικρή ευαισθησία ISO που μειώνει τον θόρυβο, επιτρέποντας καταγραφή μεγαλύτερου εύρους.

Τεχνολογικοί περιορισμοί όμως αφορούν όχι μόνο την καταγραφή του δυναμικού εύρους αλλά και τη μετατροπή του σε ψηφιακές τιμές που πραγματοποιεί ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D converter) των ψηφιακών μηχανών. Στην επόμενη εικόνα παρατίθενται οι σχέσεις μεταξύ της ακρίβειας σε bit του A/D Converter, της αντίθεσης και του δυναμικού εύρους σε f-stop και πυκνότητα (density).

Bit Precision of Analog/Digital Converter	Contrast Ratio	Dynamic Range	
		f-stops	Density
8	256:1	8	2.4
10	1024:1	10	3.0
12	4096:1	12	3.6
14	16384:1	14	4.2
16	65536:1	16	4.8

Εικόνα 2.5: Ακρίβεια A/D Converter-αντίθεση-δυναμικό εύρος
(cambridgeincolour.com)

Στην πράξη όμως, το βάθος bit του A/D converter δεν εξασφαλίζει ανάλογη αντίθεση παρά αφορά την αποφυγή της απότομης αλλαγής τόνων στην εικόνα (image posterization) και λαμβάνοντας υπ' όψη και τους τεχνολογικούς περιορισμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω (του μεγέθους του sel και άρα του αισθητήρα και του θορύβου) τελικά μία ψηφιακή κάμερα μπορεί να καταγράψει εύρος 5-9 EV (δηλαδή αντίθεση 32:1-512:1). Αυτό το εύρος είναι κατά πολύ μικρότερο από το εύρος που υπάρχει σε μία τυπική σκηνή στη φύση, περί τα 14EV (αντίθεση 16384:1). (cambridgeincolour.com)

Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι μία σκηνή 163841 διαβαθμίσεων φωτός μπορεί να καταγραφεί το πολύ με 512 διαφορετικές ψηφιακές τιμές, πράγμα που σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί σε αξιοσημείωτο και σοβαρό χάσιμο πληροφορίας. Τα αρχεία raw που δημιουργούνται από ορισμένες ψηφιακές μηχανές έχουν σήμερα βάθος πεδίου 12bit. Αυτό σημαίνει 4096 τόνους ανά χρώμα ανά pixel. Όμως, ο τρόπος με τον οποίο αποδίδεται αυτό το εύρος, υπόκειται σε έναν κανόνα αποτέλεσμα του οποίου είναι τελικά περισσότεροι τόνοι να χρησιμοποιούνται για τις φωτεινές περιοχές και λιγότεροι για τις σκοτεινές. Πιο συγκεκριμένα, για τις πολύ φωτεινές περιοχές χρησιμοποιούνται 2048 τόνοι, για τις φωτεινές 1024 τόνοι, για τους μεσαίους τόνους 512 τόνοι κοκ. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και για τις εικόνες τύπου JPEG. Με άλλα λόγια, η χαρτογράφηση των τόνων ανά περιοχή της εικόνας δεν γίνεται με τρόπο που να ανταποκρίνεται στο δυναμικό εύρος της σκηνής τη στιγμή της λήψης. Παρ' όλα δεν παύουν τα αρχεία raw να έχουν αξιοσημείωτα υψηλό δυναμικό εύρος. (Nightingale, 2012)

2.6 Εμφάνιση του δυναμικού εύρους

Δεν είναι όμως μόνο η καταγραφή του δυναμικού εύρους που υπόκειται σε τεχνολογικούς περιορισμούς. Και αυτό διότι, ακόμα και αν υπήρχε σήμερα ο κατάλληλος αισθητήρας που να καταγράφει πολύ μεγάλο δυναμικό εύρος, δεν υπάρχουν οι συσκευές και τα μέσα (π.χ. οθόνες) για να εμφανιστεί αλλά και εκτυπωτές για να εκτυπωθεί αυτό το εύρος. Μία τυπική οθόνη υπολογιστή έχει αντίθεση μέχρι 500:1 ενώ ένας εκτυπωτής μπορεί να εκτυπώσει εικόνες αντίθεσης έως 300:1, δηλαδή λιγότερο από τις δυνατότητες καταγραφής εύρους του αισθητήρα. Σήμερα υπάρχουν οθόνες υψηλού δυναμικού εύρους για τις οποίες υπάρχει ισχυρισμός ότι έχουν αντίθεση 200000:1 αλλά η τιμή τους είναι απαγορευτική και προβλέπεται να περάσει πολύς χρόνος μέχρι να γίνουν προσβάσιμες στο ευρύ κοινό.(Nightingale, 2012)

Κατά συνέπεια, το θέμα του δυναμικού εύρους δεν αφορά μόνο την καταγραφή αλλά ίσως και περισσότερο την εμφάνιση εικόνων υψηλού δυναμικού εύρους. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται το πλήθος τιμών EV που μπορούν να καταγράψουν και να εμφανίζουν μία σειρά από καταγραφικά μέσα.

Ανθρώπινο μάτι με προσαρμογή της ίριδας	24
Ανθρώπινο μάτι χωρίς την προσαρμογή της ίριδας	14
Αρχείο raw της Canon EOS 1Ds Mark III	11,7
Εικόνα . jpeg	8

Πίνακας 2.1: Το δυναμικό εύρος σε διάφορα μέσα σε τιμές EV
(dxomark.com)

Οι εικόνες που προκύπτουν από τα αρχεία raw (.tiff, .jpeg κτλ) είναι εικόνες χαμηλού δυναμικού εύρους (Low Dynamic Range – LDR) όπως επίσης LDR είναι και όλες οι συμβατικές συσκευές και εκτυπωτές. (Banterle et. Al, 2011).

2.7 Παραδείγματα μη καταγραφής και μη απόδοσης του δυναμικού εύρους

Το πρόβλημα της μη - καταγραφής και μη - εμφάνισης μεγάλου δυναμικού εύρους από τις σύγχρονες ψηφιακές μηχανές είναι εμφανές σε πολλές περιπτώσεις στην καθημερινή φωτογραφική πρακτική όταν σε μία σκηνή υπάρχει πολύ μεγάλη αντίθεση φωτός και δυσμενείς φωτιστικές συνθήκες (ηλιοβασιλέματα, λήψεις από σκοτεινά δωμάτια με φωτεινά παράθυρα κ.τ.λ.).

Καθώς το εύρος είναι περιορισμένο, δεν είναι δυνατό να φωτιστούν όλες οι περιοχές (τόσο οι σκοτεινές όσο και οι φωτεινές) με τέτοιο τρόπο ώστε να μη χαθούν από πουθενά λεπτομέρειες. Έτσι, ορισμένες περιοχές εμφανίζονται ως σκοτεινές έχοντας χάσει υφή και λεπτομέρειες και ορισμένες περιοχές της σκηνής να εμφανίζονται ως “καμμένες” και υπερβολικά φωτεινές, χάνοντας επίσης λεπτομέρειες.

Παρακάτω, μερικά παραδείγματα εικόνων LDR όπου φαίνεται το πρόβλημα μη απόδοσης μεγάλου δυναμικού εύρους.

Παράδειγμα 1:



*Εικόνα 2.6: Άποψη από το εσωτερικό του παλατιού Alhambra στη Γρανάδα της Ισπανίας
(Καραβία Δέσποινα)*

Στο παράδειγμα 1 η λήψη έχει γίνει από εσωτερικό χώρο ο οποίος έχει πολύ μεγάλη αντίθεση με τον εξωτερικό χώρο ο οποίος φαίνεται από τα ανοίγματα. Ο εσωτερικός χώρος είναι σκοτεινός και δεν μπορούν να διακριθούν οι ανάγλυφες διακοσμήσεις. Από την άλλη, ο εξωτερικός χώρος είναι υπερβολικά φωτεινός και εμφανίζεται σαν “καμμένος” έχοντας χάσει επίσης πολλές πληροφορίες. Αυτό συμβαίνει γιατί η μηχανή δεν μπόρεσε να καταγράψει όλο το δυναμικό εύρος του φωτός της συγκεκριμένης σκηνής το οποίο είναι πολύ μεγάλο και έτσι η καταγραφή των πολλών διαβαθμίσεων φωτός έχει γίνει με λιγότερες ψηφιακές τιμές από όσες απαιτούνται.

Παράδειγμα 2:



Εικόνα 2.7: Λήψη με οπίσθιο φως (backlight) και εμφάνιση σκοτεινής σιλουέτας (journographica.com)

Στο παράδειγμα αυτό, το αντικείμενο στο προσκήνιο, δηλαδή ο άνθρωπος, έχει εμφανιστεί σαν σκοτεινή σιλουέτα χωρίς λεπτομέρεια, χωρίς αυτό να έχει γίνει με πρόθεση.

Παράδειγμα 3:



Εικόνα 2.8: Υπερεκτεθειμένος ουρανός – υποεκτεθειμένο έδαφος (mikegrosshandler.com)

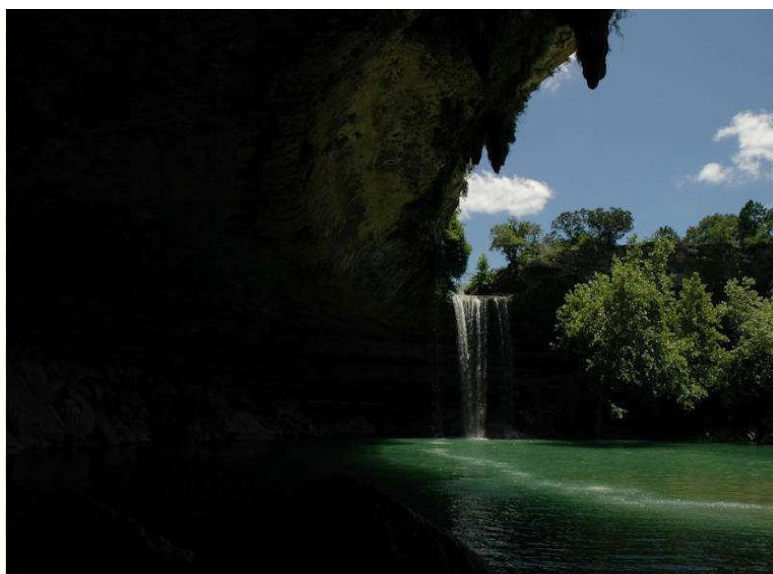
Το παράδειγμα 3 είναι μία σκηνή με πολύ έντονη αντίθεση (φωτεινός ουρανός και πολύ λιγότερο φωτεινό έδαφος) όπου ενώ οι σκοτεινές περιοχές της σκηνής έχουν αποδοθεί με σχετικά μεγάλη λεπτομέρεια, οι λεπτές διαβαθμίσεις φωτός που υπάρχουν στον ουρανό δεν έχουν εμφανιστεί λόγω μεγάλης φωτεινότητας και έτσι έχει χαθεί η υφή των σύννεφων.

2.8 Λύσεις στην ψηφιακή φωτογραφία

Όσον αφορά την ψηφιακή φωτογραφία, υπάρχουν μία σειρά λύσεις για τη λήψη σκηνών με υψηλό δυναμικό εύρος, άλλες αποτελεσματικές και άλλες λιγότερο. Σκοπός είναι πάντα τα αντικείμενα να εκτίθενται και να καταγράφονται όσο πιο κοντά στην επιθυμία του φωτογράφου γίνεται. Παρακάτω παρατίθενται οι πιο συνηθισμένες.

Μία λύση είναι η επιλογή της κατάλληλης χρονικής στιγμής κατά την οποία το δυναμικό εύρος είναι λιγότερο πιθανό να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα της τελικής εικόνας. Αυτή η λύση, βέβαια, είναι ιδιαίτερα απαιτητική καθώς συνήθως δεν υπάρχει η πολυτέλεια επιλογής του χρόνου, είτε πρόκειται για επαγγελματική είτε για ερασιτεχνική λήψη. Η επέμβαση στο φως της σκηνής με τεχνητά μέσα (τεχνητός φωτισμός, πετάσματα κ.τ.λ.) μπορεί επίσης να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά πρόκειται για μια επιλογή δύσκολη λόγω του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται.

Σημαντικότερη βοήθεια προσφέρει η ρύθμιση της τιμής έκθεσης. Βασική αναφορά για το συγκεκριμένο ζήτημα οφείλεται να γίνει στο Ζωνικό Σύστημα του Ansel Adams το οποίο όμως αναλύεται εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο που αφορά στις προσπάθειες που γινόντουσαν την εποχή του αναλογικού φιλμ. Εδώ, γίνεται αναφορά στο αποτέλεσμα που μπορεί να επιτύχει κανείς ρυθμίζοντας την τιμή έκθεσης στη μηχανή ανάλογα με τη φωτεινότητα του αντικειμένου. Σε μία σκηνή όπου σκοπός είναι η ανάδειξη σκοτεινών σημείων, επιλέγεται υψηλή έκθεση ώστε να φωτιστούν τα σκοτεινά σημεία. Αντίστροφα, όταν επιδιώκεται η καταγραφή υψής και λεπτομερειών σε φωτεινά σημεία, η έκθεση πρέπει να είναι χαμηλότερη ώστε να μην “καούν” από το υπερβολικό φως τα σημεία αυτά.



Εικόνα 2.9: Χαμηλή έκθεση: Εμφάνιση ουρανού και περιοχών κάτω από τον βράχο πολύ σκοτεινά (davewilsonphotography.com)

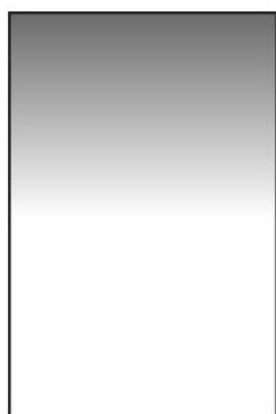
Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



Εικόνα 2.10: Υψηλή έκθεση: Υπερέκθεση ουρανού και ικανοποιητική εμφάνιση περιοχών κάτω από τον βράχο
(davewilsonphotography.com)

Καθώς το δυναμικό εύρος που μπορεί να καταγραφεί είναι περιορισμένο, παρ'όλο που υπάρχει η δυνατότητα να επιλεχθεί ποιες περιοχές θα εμφανίζονται και ποιες όχι, τελικά πολλές φορές στην ουσία θυσιάζονται περιοχές της σκηνής.

Μία ακόμα διαδεδομένη λύση είναι η χρήση φίλτρων Ουδέτερης Πυκνότητας Ντεγκραντέ (ND Grad). (photo.gr) Ανάλογα με την πυκνότητά τους, χωρίζονται στις παρακάτω συνήθεις τρεις κατηγορίες:



Απαλή διαβάθμιση (Soft Grad)



Σκληρή διαβάθμιση (Hard Grad)

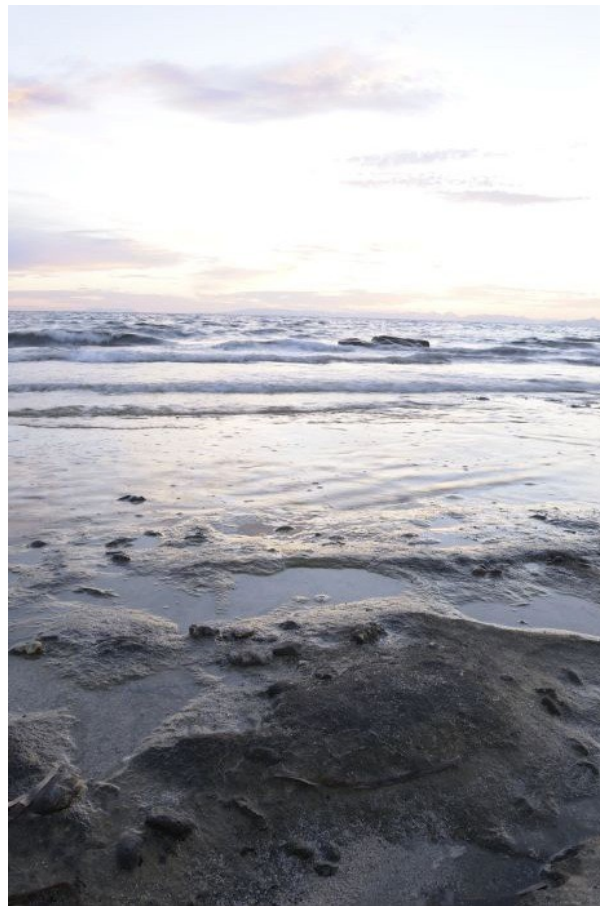
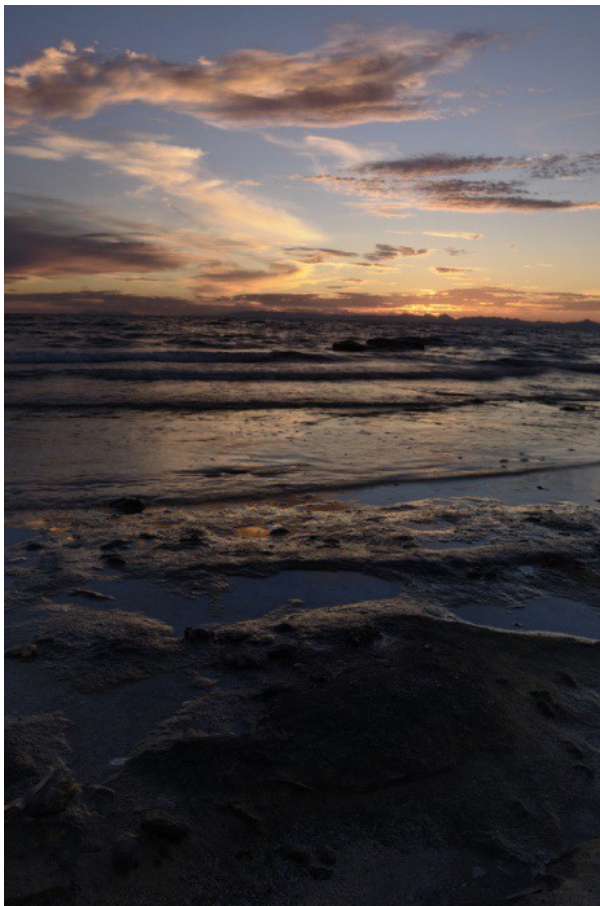


Αντίστροφη διαβάθμιση (Reverse Grad)

Εικόνα 2.11: Τα φίλτρα ουδέτερης πυκνότητας ντεγκραντέ (ND Grad)
(photo.gr)

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

Τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως στις φωτογραφίες τοπίου και επιτρέπουν τη μείωση του δυναμικού εύρους και την απόδοση λεπτομερειών και υφής σε μεγαλύτερο μέρος της σκηνής.



*Εικόνα 2.12: Σκηνή με υψηλό δυναμικό εύρος χωρίς χρήση ND Grad
(photo.gr)*

Στο παράδειγμα αυτό, με την επιλογή της συγκεκριμένης έκθεσης, στην πρώτη περίπτωση αριστερά ο ουρανός έχει αποδοθεί με υφή και λεπτομέρειες αλλά το προσκίνητο έχει εμφανιστεί σκοτεινό. Ανεβάζοντας την τιμή της έκθεσης (δεξιά) το προσκίνητο έχει εμφανιστεί πολύ καλά αλλά ο ουρανός έχει υπερεκτεθεί και φαίνεται σαν “καμμένος”, χωρίς υφή.

Με τη χρήση φίλτρου ND Grad προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα:



Εικόνα 2.13: Η ίδια σκηνή με τη χρήση φίλτρου ND Grad
(photo.gr)

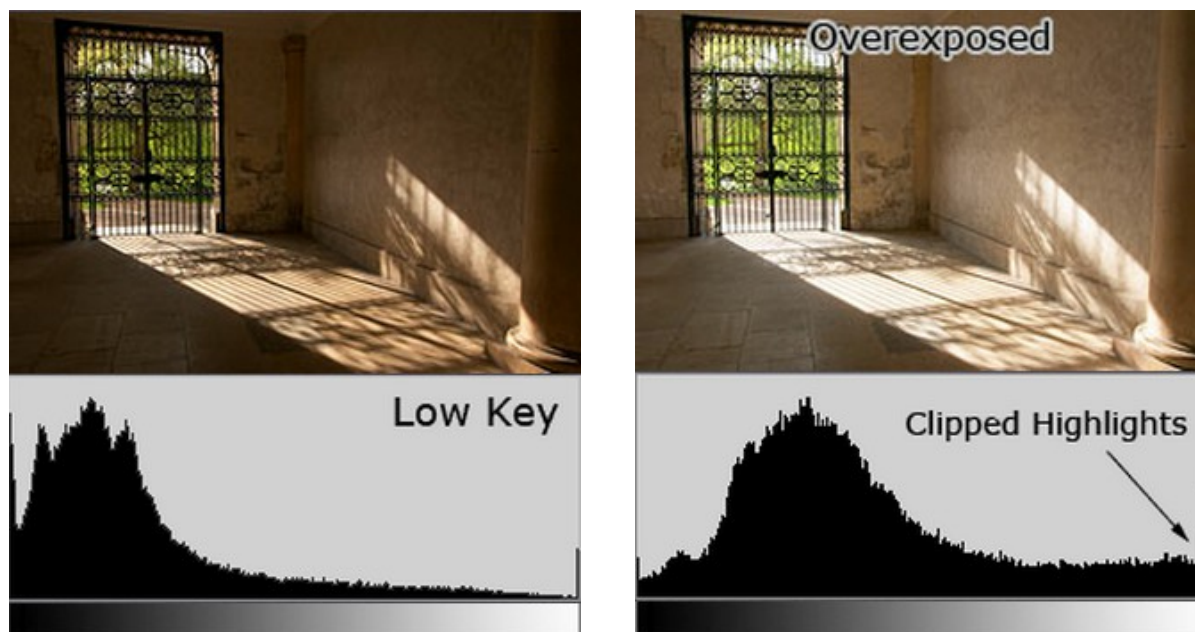
Το αποτέλεσμα είναι σαφώς καλύτερο και πιο εξισορροπημένο φωτιστικά, καθώς τόσο ο ουρανός όσο και το προσκήνιο έχουν εμφανιστεί πολύ καλά.

Παρ' όλα αυτά, η χρήση των συγκεκριμένων φίλτρων έχει μειονεκτήματα. Πρώτον, μπορούν να μειώσουν το δυναμικό εύρος μόνο μέχρι 4 stop γεγονός που δεν εξυπηρετεί πολλές περιπτώσεις. Και δεύτερον, ο τρόπος που αλλάζει η πυκνότητά τους (είτε είναι απαλή, είτε είναι σκληρή, είτε είναι αντίστροφη) έχει συγκεκριμένη γεωμετρία. Συνεπώς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά σε σκηνές όπου η φωτεινή από την σκοτεινή περιοχή διαχωρίζονται με τον συγκεκριμένο τρόπο (πχ ηλιοβασιλέματα στη θάλασσα) και όχι σε σκηνές όπου οι περιοχές αυτές είναι διασκορπισμένες στη σκηνή χωρίς να ακολουθούν συγκεκριμένο πρότυπο.

Τέλος, σημαντική βελτίωση της εικόνας μπορεί να γίνει στο επίπεδο της μεταεπεξεργασίας της. Πολλά λογισμικά επεξεργασίας εικόνας μπορούν να βελτιώσουν το δυναμικό εύρος μίας εικόνας με τα εργαλεία που προσφέρουν. Μία από τις βασικές ψηφιακές επεμβάσεις αφορά το ιστόγραμμα της εικόνας. Εκτείνοντας ένα περιορισμένο ιστόγραμμα μέχρι τα άκρα του, το εύρος τόνων της εικόνας αποδίδεται με περισσότερες ψηφιακές τιμές και άρα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Φυσικά, όσο πιο μεγάλο είναι το βάθος bit μίας εικόνας τόσο περισσότερη πληροφορία περιέχει και άρα τόσο καλύτερη ποιότητα θα έχει μετά την ψηφιακή επεξεργασία. Στο παρακάτω παράδειγμα, το ιστόγραμμα μίας σκοτεινής εικόνας (άρα το ιστόγραμμα μετατοπισμένο προς τα αριστερά) έχει υποστεί περικοπή των άκρων του προκειμένου όλα τα pixels του να διευρυνθούν σε όλους τους

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

δυνατούς τόνους. Το αποτέλεσμα είναι η εικόνα να φωτίσει και να εμφανιστούν πολλές περισσότερες λεπτομέρειες.



*Εικόνα 2.14: Επέμβαση στο ιστόγραμμα μίας σκοτεινής εικόνας
(cambridgeincolour.com)*

Επιπλέον, ειδικά με εικόνες που έχουν ληφθεί με χαμηλή ευαισθησία ISO και άρα λιγότερο θόρυβο, μπορεί κανείς με τα λογισμικά επεξεργασίας εικόνας να δημιουργήσει αντίγραφα της αρχικής αλλάζοντας τη φωτεινότητα και μετά χειροκίνητα με διάφορα εργαλεία να αυξήσει ή και να βελτιώσει το δυναμικό εύρος.

Η πλέον όμως ενδεδειγμένη μέθοδος ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας που αφορά την αύξηση του δυναμικού εύρους είναι το High Dynamic Range Imaging (HDRI), δηλαδή οι Απεικονίσεις Υψηλού Δυναμικού Εύρους. Το HDRI είναι ένα σύνολο τεχνικών δημιουργίας εικόνων που απεικονίζουν δυναμικό εύρος κατά πολύ μεγαλύτερο από εκείνο που καταγράφεται με τη λήψη ψηφιακών εικόνων όπως αυτή πραγματοποιείται με τους συμβατικούς τρόπους σήμερα.

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*



*Εικόνα 2.15: Εικόνα HDR της σκηνής των εικόνων 2.9 και 2.10
(davewilsonphotography.com)*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΛΗΨΕΙΣ ΥΨΗΛΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ

3.1 Ιστορικά στοιχεία εικόνων υψηλού δυναμικού εύρους

Η προσπάθεια φωτογραφικής καταγραφής μεγάλου δυναμικού εύρους είναι παλιά σχεδόν όσο η και φωτογραφία. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες αξιοσημείωτες προσπάθειες και τεχνικές για την απόδοση εικόνων υψηλής αντίθεσης, ήδη από την εποχή της αναλογικής φωτογραφίας.

3.1.1 Η συνδυασμένη εκτύπωση (combination printing)

Η τεχνική της συνδυασμένης εκτύπωσης (combination printing) ήταν πολύ διαδεδομένη στα μέσα του 19ου αιώνα. Προσπαθούσε να ξεπεράσει τους περιορισμούς των φιλμ και της αναλογικής μηχανής που αδυνατούσαν να καταγράψουν σκηνές υψηλής αντίθεσης. Στη συνδυασμένη εκτύπωση δύο ή περισσότερα αρνητικά -ενδεχομένως και του ίδιου θέματος που όμως έχουν διαφορετική έκθεση- συνδυάζονται στο στάδιο της εκτύπωσης προκειμένου να δημιουργήσουν μία τελική εικόνα. Για παράδειγμα, ήταν πολύ συνηθισμένο, αρνητικό που περιέχει καλά φωτισμένο ουρανό και σύννεφα, να ενώνεται με αρνητικό όπου ο ουρανός έχει χαθεί από την υπερέκθεση, προκειμένου το τελικό αποτέλεσμα να είναι από άποψη φωτός ισορροπημένο. Την τεχνική αυτή εισήγαγε ο γάλλος φωτογράφος Jean-Baptiste Gustave Le Gray (1820-1884) όμως σημαντικό έργο δημιούργησαν με αυτή την τεχνική και πολλοί άλλοι αξιόλογοι φωτογράφοι όπως ο Henry Peach Robinson, ο William Lake Price, ο Hippolyte Bayard, ο Oscar Gustave Rejlander κ.ά. (wikipedia.org)



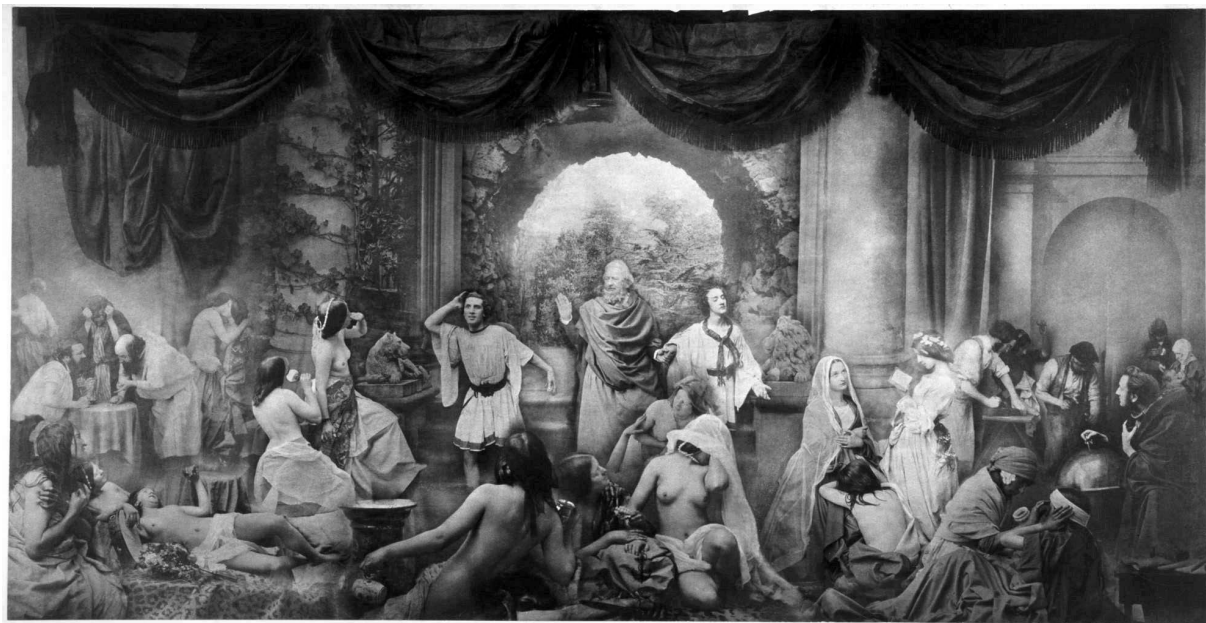
Εικόνα 3.1: Gustave Le Gray, "The Great Wave" (1856-1859)
(wikipedia.org)

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



Εικόνα 3.2: Henry Peach Robinson, "Figures in Landscape" (περ. 1880)
(photographymuseum.com)

Το πιο ακραίο παράδειγμα της τεχνικής αυτής ανήκει στον φωτογράφο Oscar Gustave Rejlander ο οποίος δημιούργησε την εικόνα "Two ways of life" συνδυάζοντας μέρη 32 εικόνων!



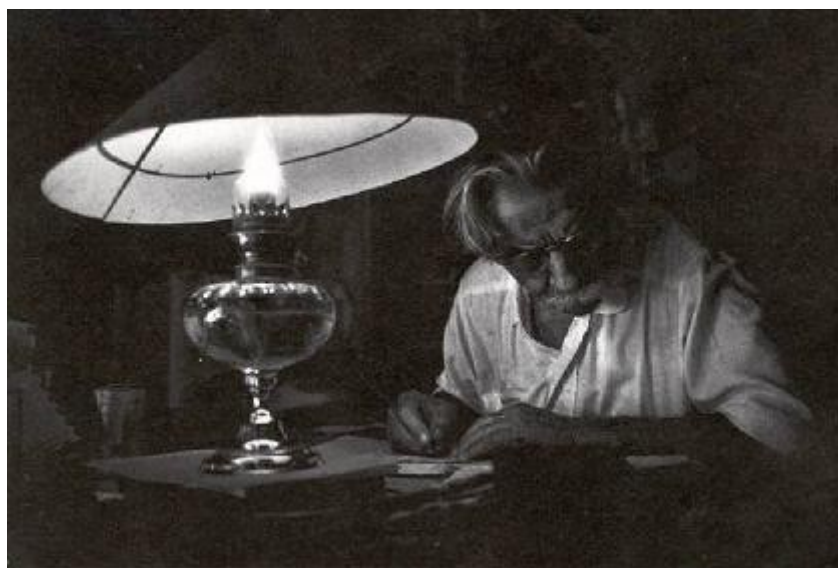
Εικόνα 3.3: Oscar Rejlander, "Two Ways of Life" (1857)
(tumblr.com)

3.1.2 Συσκότιση και Εκφώτιση (Dodging and Burning)

Η τεχνική συσκότισης και εκφώτισης (dodging and burning) ήταν επίσης πολύ διαδεδομένη την εποχή του αναλογικού φιλμ ενώ σήμερα πολλά λογισμικά ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας έχουν εργαλεία dodging and burning που μιμούνται την συγκεκριμένη τεχνική (ephotozine.com).

Κατά το στάδιο της εμφάνισης του φιλμ, οι φωτογράφοι ρύθμιζαν με το χέρι την έκθεση των διάφορων περιοχών της φωτογραφίας. Όταν ζητούμενο ήταν μία περιοχή να φωτιστεί, παρεμβαλλόταν μία αδιαφανής επιφάνεια μεταξύ του φακού εμφάνισης και του αρνητικού και με την παρεμπόδιση του φωτός (καθώς επρόκειτο για εμφάνιση αρνητικού) οι περιοχές κάτω από την αδιαφανή επιφάνεια φωτίζονταν περισσότερο από τις υπόλοιπες (burning). Αντίθετα, σε περίπτωση που ζητούμενο ήταν μία περιοχή να μείνει σκοτεινή, τότε πάνω από αυτή την περιοχή έπεφτε περισσότερο φως σε σύγκριση με τις άλλες που καλύπτονταν με την αδιαφανή επιφάνεια (dodging).

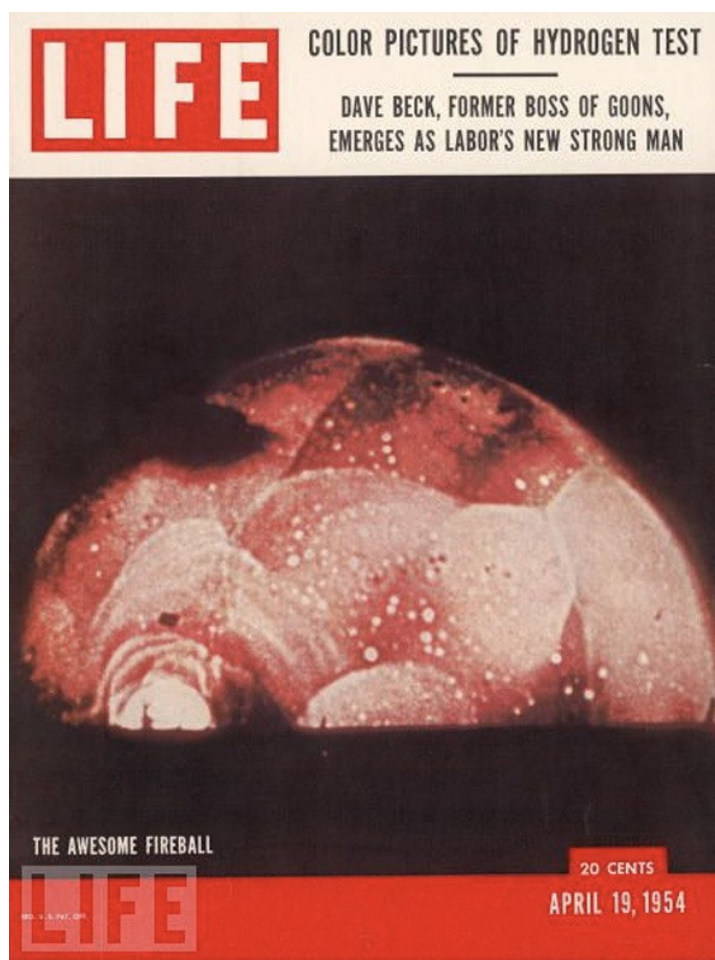
Η παρακάτω εικόνα έχει δημιουργηθεί με την τεχνική dodging and burning και είναι μία από τις καλύτερες του είδους. Φωτογράφος είναι ο W. Eugene Smith ο οποίος χρειάστηκε 5 μέρες για να τη δημιουργήσει και να αποδώσει τελικά την αντίθεση φωτός που επιδίωκε, μεταξύ της περιοχής κάτω από την λάμπα και του γύρω χώρου.



Εικόνα 3.4: W. Eugene Smith, "Schweitzer at the Lamp" (1954)
(wikipedia.org)

3.1.3 Το φιλμ υψηλού δυναμικού εύρους του Charles Wyckoff

Τη δεκαετία του 1940 ο Αμερικανός φωτογράφος και φωτοχημικός Charles Wyckoff δημιούργησε ένα φιλμ το οποίο μπορούσε να καταγράψει πολύ μεγάλο δυναμικό εύρος. Το φιλμ αυτό είχε τρία στρώματα, ένα με ταχύτητα ASA 400, ένα με ταχύτητα ASA 0,004 και ένα με μέση ταχύτητα. Με κάθε ένα από τα φιλμ αυτά δημιουργούσε ένα διαφορετικό χρώμα. Η αντίθεση που μπορούσε να καταγράψει αυτό το φιλμ είχε υπολογιστεί σε $1:10^8$ και ο Wyckoff το χρησιμοποίησε για επιστημονικές φωτογραφήσεις όπως πυρηνικές εκρήξεις, αστρονομικές λήψεις κ.ά.



Εικόνα 3.5: Το εξώφυλλο του περιοδικού Life (19/04/1954) με τη φωτογραφία του Charles Wyckoff όπου φαίνεται η πρώτη έκρηξη βόμβας υδρογόνου (wikipedia.org)

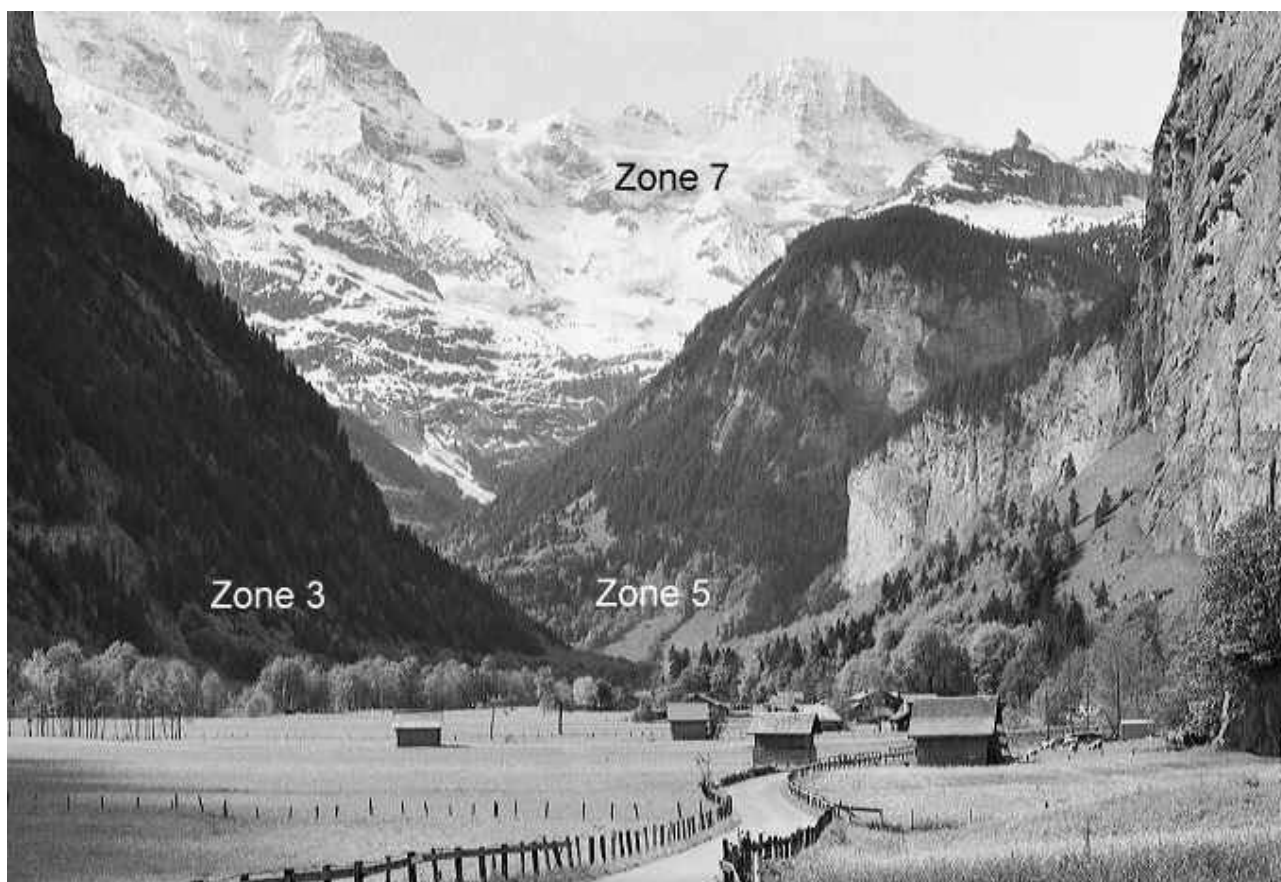
3.1.4 Το Ζωνικό Σύστημα (Zone System) του Ansel Adams

Ιδιαίτερη αναφορά στο θέμα του δυναμικού εύρους οφείλεται να γίνει στον πρωτοπόρο Αμερικάνο φωτογράφο τοπίου, τον Ansel Adams και το Ζωνικό Σύστημα που εισήγαγε με τη συμβολή του Fred Archer, την περίοδο 1939-1940. Το Ζωνικό Σύστημα αν και εφαρμόστηκε αρχικά στο ασπρόμαυρο αναλογικό φιλμ, έχει εφαρμογή και στην ψηφιακή φωτογραφία. Πρόκειται για μία συστηματική μέθοδο με τη βοήθεια της οποίας ο φωτογράφος αποκτά μεγαλύτερο έλεγχο μεταξύ της καταγραφής της εικόνας στο φιλμ και του τελικού αποτελέσματος όσον αφορά τις φωτεινότητες των διαφόρων περιοχών της σκηνής. Στο βιβλίο του "The Negative" ο Ansel Adams δίνει αναλυτικές τεχνικές οδηγίες σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου.

Πρώτο βασικό στοιχείο του Ζωνικού Συστήματος είναι η οπτικοποίηση και αφορά την πρόβλεψη του τελικού αποτελέσματος πριν ακόμα από τη λήψη. Με βάση την οπτικοποίηση γίνεται επιλογή όλων των παραμέτρων που συμβάλλουν στη φωτογράφιση (τοποθέτηση κάμερας, επιλογή φιλμ, έκθεση κτλ). Στη συνέχεια, σημαντικό ρόλο παίζει η μέτρηση της έκθεσης της σκηνής. Όπως έχει αναλυθεί στο Κεφάλαιο 1.3 οι φωτομετρήσεις μέσου όρου δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα διότι σε μία τυπική σκηνή η φωτεινότητα από περιοχή σε περιοχή της σκηνής αλλάζει και κατά συνέπεια αλλάζουν και οι αντίστοιχες απαιτούμενες εκθέσεις προκειμένου οι περιοχές αυτές να

καταγραφούν σωστά. Συνεπώς, με τη μέτρηση μέσου όρου οι διαφορές αυτές δεν εντοπίζονται και άρα δεν καταγράφονται.

Η βασική ιδέα του Ζωνικού Συστήματος είναι η τοποθέτηση των αντικειμένων της σκηνής σε συγκεκριμένες ζώνες φωτεινότητας. Οι ζώνες φωτεινότητας είναι οι : 0 – I – II – III – IV – V – VI – VII – VIII – IX και καλύπτουν το εύρος φωτεινότητας που μπορεί να αποδώσει το φωτογραφικό χαρτί. Κάθε ζώνη αντιστοιχεί σε μία έκθεση και έναν αντίστοιχο συνδυασμό ανοίγματος διαφράγματος και ταχύτητας κλείστρου. Η ζώνη 0 αντιστοιχεί στο απόλυτο μαύρο και η ζώνη IX στο λευκότερο λευκό που μπορεί να εμφανίσει το φωτογραφικό χαρτί. Η ζώνη V είναι το μέσο γκρι (18%) και αντιστοιχεί σε έκθεση 0 stop. Κάθε ζώνη πάνω ή κάτω από τη ζώνη V έχει έκθεση αυξημένη ή μειωμένη κατά 1 stop αντίστοιχα.



*Εικόνα 3.6: Ζώνες φωτεινότητας
(luminous-landscape.com)*

Ο Ansel Adams επισήμανε και ορισμένες υποκλίμακες. Η πλήρης κλίμακα είναι αυτή και των 11 ζωνών, από μαύρο σε άσπρο. Η υποκλίμακα DR (Dynamic Range) αφορά τις πιο σκοτεινές και πιο φωτεινές περιοχές του αρνητικού οι οποίες είναι χρήσιμες για την εικόνα και περιλαμβάνει τις ζώνες I έως IX. Τέλος, η υποκλίμακα της υψής περιλαμβάνει τις ζώνες II έως VIII. Με κριτήριο την οπτικοποίηση, ο φωτογράφος τοποθετεί τα διάφορα αντικείμενα στην κατάλληλη ζώνη χρησιμοποιώντας φωτόμετρο spot για τη φωτομέτρηση λεπτομερειών. Η λήψη γίνεται με τον κατάλληλο συνδυασμό ανοίγματος διαφράγματος και ταχύτητας κλείστρου και αντιστοιχεί στη ζώνη V.

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

Το τονικό σύστημα επεκτείνεται και στο στάδιο της εκτύπωσης του φιλμ. Το αναλογικό φιλμ μπορεί να καταγράψει αντίθεση 1:128 ενώ το φωτογραφικό χαρτί μπορεί να αποδώσει εύρος μόνο 1:30. και σε αυτό το σημείο ανάλογα με την αντίθεση που επιδιώκεται γίνεται εμφάνιση N+1 ή N+2, N-1 ή N-2 όπου N=Normal.



*Εικόνα 3.7: Ansel Adams, "Canon de Chelly" (1941)
(anseladams.com)*

Η φωτογραφική καταγραφή του δυναμικού εύρους εξακολουθεί μέχρι σήμερα, στην ψηφιακή εποχή, να είναι ένα σημαντικό ζητούμενο. Μπορεί οι ψηφιακές μέθοδοι να έχουν λύσει ορισμένα θέματα όμως νέοι περιορισμοί έχουν προκύψει που αφορούν την αποθήκευση εικόνων υψηλού δυναμικού εύρους, την εμφάνιση αλλά και την εκτύπωσή τους. Η μέθοδος Απεικονίσεων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (High Dynamic Range Imaging) εμφανίστηκε σε πολύ αρχικό στάδιο πριν δύο δεκαετίες και διαρκώς βελτιώνεται, ενώ όλο και περισσότερες ψηφιακές κάμερες προσφέρουν λειτουργίες αναγκαίες για τις λήψεις υψηλού δυναμικού εύρους.

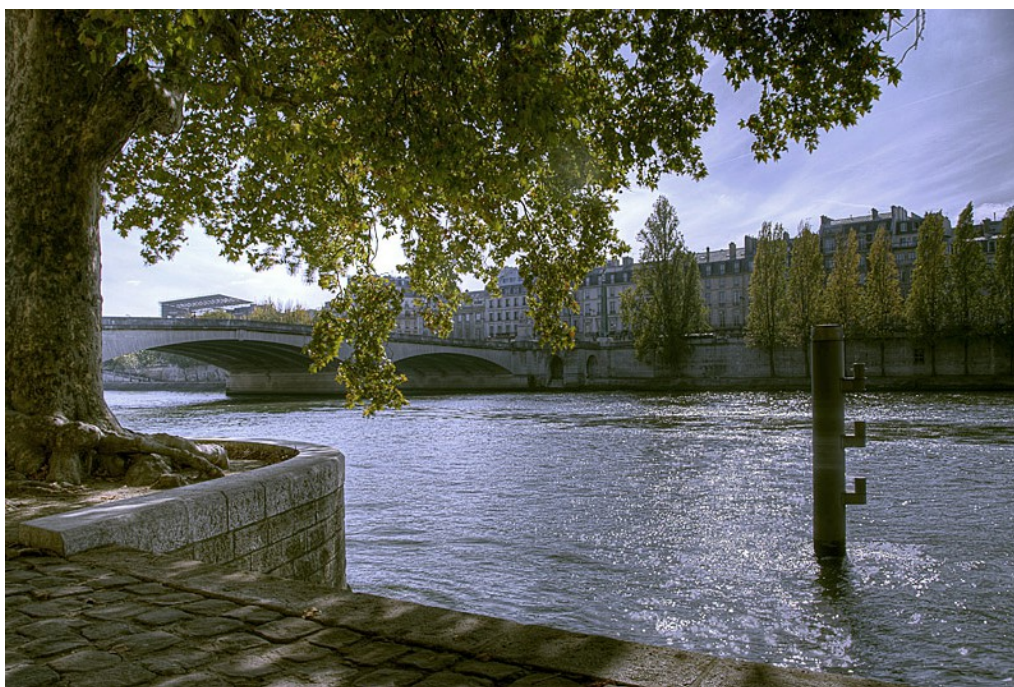
3.2 Οι Εικόνες Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR)

Ο όρος HDR (High Dynamic Range Imaging) ή κοινώς HDR, αναφέρεται σε μία ειδική τεχνική της ψηφιακής φωτογραφίας όπου λήψεις της ίδιας σκηνής με διαφορετικές εκθέσεις συγχωνεύονται και δημιουργείται μία τελική εικόνα με μεγαλύτερο δυναμικό εύρος από τις πρωτογενείς.

Με τον τρόπο αυτό, δηλαδή τη σύνθεση πολλαπλών εκθέσεων στην τελική εικόνα, μπορούν να υπάρχουν όλες εκείνες οι περιοχές ακραίων φωτιστικών συνθηκών που με μία λήψη θα χάνονταν (π.χ. πολύ φωτεινές περιοχές σε λήψεις υψηλής έκθεσης, πολύ σκοτεινές περιοχές σε λήψεις χαμηλής έκθεσης).

Η τεχνολογία HDR όπως νοείται σήμερα, ξεκίνησε πριν περίπου 2 δεκαετίες όμως, όπως έχει ήδη αναλυθεί, ο τρόπος καταγραφής του δυναμικού εύρους απασχολεί τους φωτογράφους από τις απαρχές της φωτογραφίας.

Οι εικόνες HDR μπορεί να είναι ρεαλιστικές ή υπερεαλιστικές, ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη και με τη χρήση ειδικών εργαλείων, τόσο των λογισμικών δημιουργίας εικόνων HDR όσο και των απλών λογισμικών επεξεργασίας εικόνας. Οι ρεαλιστικές εικόνες HDR είναι πιο φυσικές και πιο πιστές στη σκηνή τη στιγμή της λήψης ενώ οι υπερεαλιστικές είναι πιο καλλιτεχνικές, ενώ μπορεί ζητούμενο να είναι η εμφάνιση όσο το δυνατό περισσότερο της αντίθεσης. (Nightingale, 2012). Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα εικόνων HDR.



*Εικόνα 3.8: Εικόνα HDR
(talino.org)*



*Εικόνα 3.9: Εικόνα HDR
(wooz.gr)*

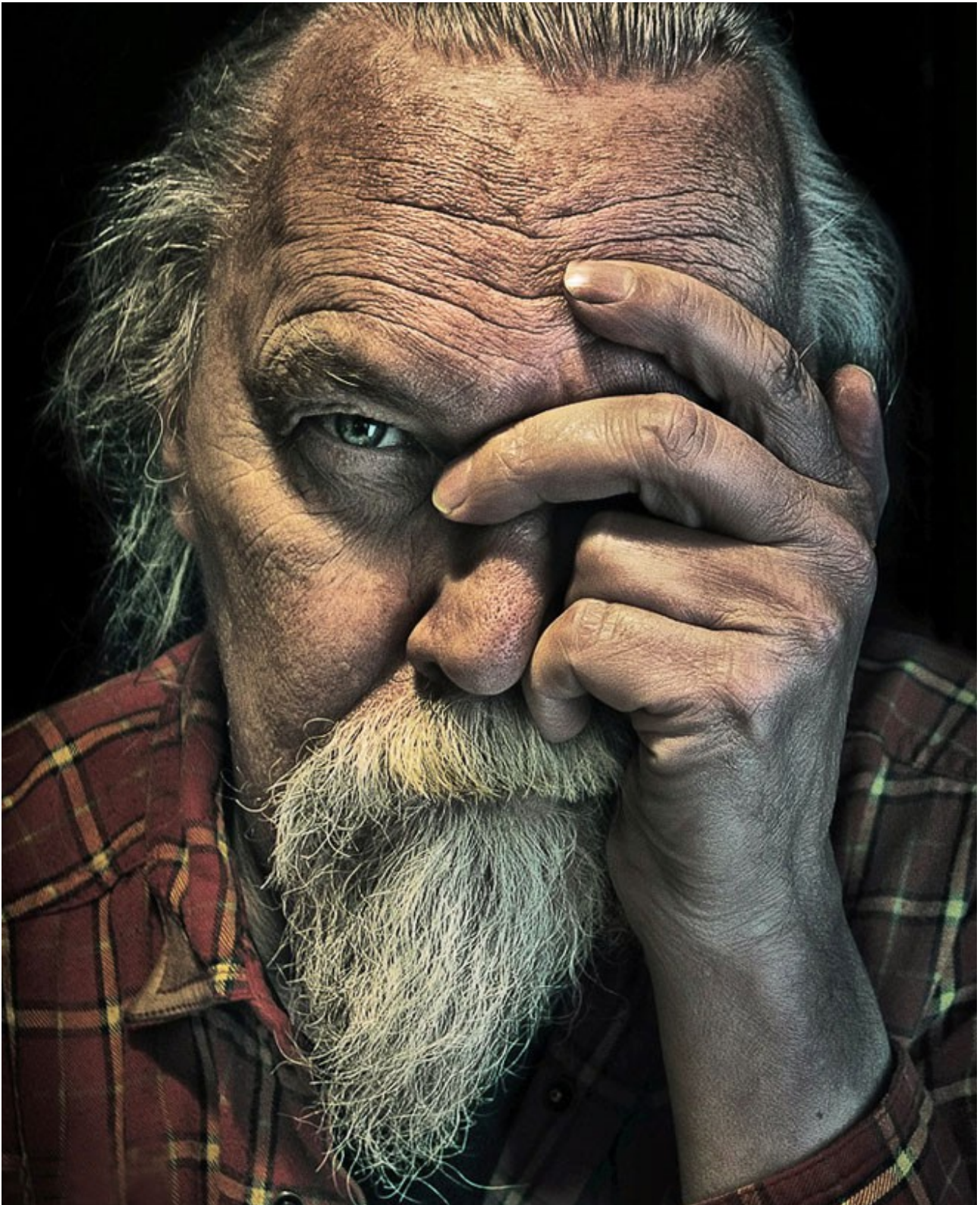
*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*



*Εικόνα 3.10: Νυχτερινή εικόνα HDR της Ακρόπολης
(Άγγελος Βενέτης)*



*Εικόνα 3.11: Εικόνα HDR της Ρώμης
(flickr.com)*



Εικόνα 3.12: “New but not new HDR”
(Bernt Carlzon)

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*



*Εικόνα 3.13: Εικόνα HDR περιοχής του Βερολίνου
(Martin Grädler)*



Εικόνα 3.14: Εικόνα HDR
(wikipedia.com)

3.2.1 Η διαδικασία δημιουργίας εικόνων HDR

Η διαδικασία δημιουργίας εικόνων HDR είναι με συντομία η παρακάτω:

- Λήψη εικόνων διαφορετικών εκθέσεων
- Δημιουργία εικόνας HDR με συγχώνευση των πολλαπλών λήψεων
- Tone mapping της HDR εικόνας

3.2.1.1 Λήψη εικόνων διαφορετικών εκθέσεων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι εικόνες HDR προκύπτουν από τη συγχώνευση (merging) εικόνων της ίδιας σκηνής αλλά διαφορετικών εκθέσεων. Για να γίνει λήψη αυτών των εικόνων είναι απαραίτητος ειδικός εξοπλισμός.

Αρχικά, απαιτείται η ψηφιακή μηχανή να διαθέτει τη λειτουργία Auto Exposure Bracketing (AEB) που αφορά τη διαδοχική, αυτόματη λήψη εικόνων με διαφορετική έκθεση. Οι λήψεις αυτές μπορούν να γίνουν και με χειροκίνητη αλλαγή των παραμέτρων της έκθεσης όμως υπάρχει περίπτωση να μην είναι ευθυγραμμισμένες μεταξύ τους. Ο αριθμός των εικόνων και το διάστημα έκθεσης μεταξύ των λήψεων επιλέγεται από το αντίστοιχο μενού του λογισμικού της μηχανής. Η έκθεση από λήψη

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

σε λήψη με τη λειτουργία AEB αλλάζει, άρα η μηχανή θα πρέπει να διαθέτει τη λειτουργία Aperture Priority (Προτεραιότητα Διαφράγματος). Αυτές τις λειτουργίες τις παρέχουν οι μηχανές SLR, superzoom, bridge και ελάχιστες compact μηχανές. (Nightingale,2012)

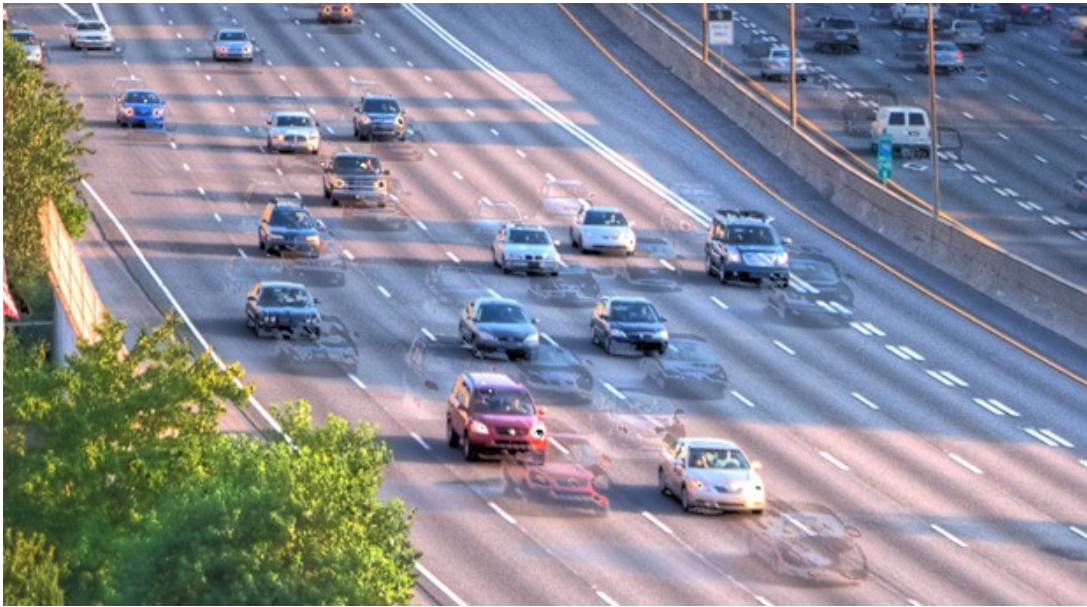


Εικόνα 3.15: Ρύθμιση παραμέτρων του Auto Exposure Bracketing σε μηχανή Canon Mark III
(canon.com)

Προκειμένου οι εικόνες διαφορετικών εκθέσεων να απεικονίζουν ακριβώς το ίδιο αντικείμενο, είναι απαραίτητο η μηχανή να είναι σταθερή ώστε οι λήψεις να είναι ευθυγραμμισμένες. Στην αντίθετη περίπτωση, οποιαδήποτε μικρομετακίνηση δημιουργεί πρόβλημα στην τελική εικόνα, δηλαδή αναγκαστική περικοπή άκρων και θολές περιοχές. Συνεπώς η χρήση τρίποδα είναι επιβεβλημένη ώστε να έχουν γίνει οι καλύτερες δυνατές λήψεις. Ακόμα καλύτερα, ενδείκνυται να χρησιμοποιείται εξαπολυτής ώστε να μην υπάρχει κατά τη στιγμή της λήψης καμία επαφή με τη μηχανή που θα μπορούσε ενδεχομένως να την κουνήσει.

Άλλες σημαντικές παράμετροι των λήψεων είναι να έχουν όλες οι λήψεις το ίδιο ISO και να έχουν απενεργοποιηθεί οι λειτουργίες αυτόματης εστίασης (autofocus) και ρύθμισης του λευκού (white balance), ώστε μεταξύ των λήψεων η διαφορά να αφορά μόνο στην έκθεση και τίποτα άλλο.

Βεβαίως, όπως είναι λογικό, κινούμενα αντικείμενα (φύλλα, ζώα, άνθρωποι κτλ) επίσης δημιουργούν προβλήματα στην τελική εικόνα, το λεγόμενο ghosting (εικόνα 3.16). Αν και δεν είναι πάντα εφικτό λόγω αντικειμενικών συνθηκών, πρέπει στη σκηνή κατά τις λήψεις να υπάρχει όσο το δυνατό λιγότερη κίνηση.

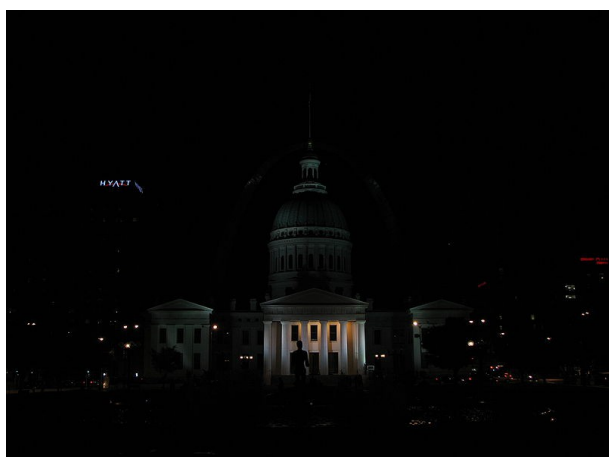


Εικόνα 3.16: Ghosting effect λόγω κίνησης οχημάτων
(paulstamatiou.com)

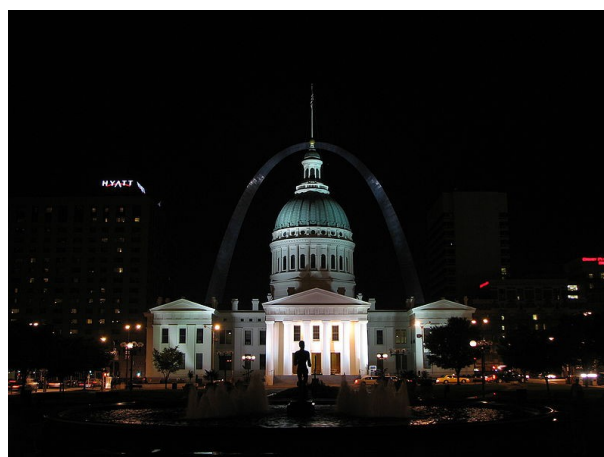
Τέλος, επειδή παράγονται πολλές εικόνες για κάθε περίπτωση, απολύτως απαραίτητη είναι η διαθεσιμότητα μεγάλης αποθηκευτικής μνήμης.

Σκοπός της λήψης εικόνων διαφορετικών εκθέσεων είναι η καταγραφή από τις λήψεις όλου του δυναμικού εύρους της σκηνής. Το κριτήριο επιλογής του αριθμού των λήψεων (3,5,7 κ.ο.κ) και του διαστήματος EV από λήψη σε λήψη είναι το ίδιο το δυναμικό εύρος της σκηνής. Ο αριθμός των λήψεων είναι μονός διότι περιλαμβάνει την κεντρική λήψη 0 EV και ισάριθμες λήψεις μεγαλύτερης και μικρότερης έκθεσης. Όσο πιο μεγάλο είναι το εύρος -και άρα τόσο πιο πολύ απέχει από αυτό που μπορεί να καταγράψει η μηχανή- τόσο πιο πολλές πρέπει να είναι οι λήψεις. Για να εντοπιστεί το εύρος, μπορεί να γίνει φωτομέτρηση της πιο σκοτεινής και της πιο φωτεινής περιοχής της σκηνής και ανάλογα με τη διαφορά κάθε περιοχής να βρεθεί το εύρος. Εναλλακτικά και πιο απλά, ο εντοπισμός αυτός μπορεί να γίνει με δοκιμαστικές λήψεις με τη λειτουργία AEB μέχρις ότου στο σύνολο των εικόνων να καταγράφεται όλο το δυναμικό εύρος της σκηνής. Καθώς κάθε σκηνή είναι διαφορετική, κανόνας για το πόσες λήψεις θα γίνουν και με τι διαφορά EV, δεν υπάρχει. Συνήθως όμως 3 λήψεις με -2EV, 0EV, 2EV έχουν καλά αποτελέσματα. (Nightingale, 2012)

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



(a) -8 EV



(b) -2 EV



(c) +2 EV



(d) +4 EV

Εικόνα 3.17: Πολλαπλές λήψεις διαφορετικών εκθέσεων του ίδιου αντικειμένου
(wikipedia.com)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, έχουν γίνει 4 λήψεις (a), (b), (c) και (d) με διαφορετικές εκθέσεις -8,-2,+2 και +4 EV. Σε κάθε περίπτωση, φαίνονται διαφορετικές λεπτομέρειες του αντικειμένου.

Στη λήψη (a) των -8 EV, φαίνεται καλά η είσοδος του κεντρικού κτιρίου ενώ όλες οι άλλες περιοχές της εικόνας είναι σκοτεινές, χωρίς λεπτομέρειες. Στη λήψη (b) των -2 EV, εμφανίζονται περισσότερα μέρη του κτιρίου, η είσοδος έχει περισσότερο φως από το απαιτούμενο ενώ το υπόλοιπο μέρος της σκηνής εξακολουθεί να είναι πολύ σκοτεινό. Στη λήψη (c) των +2 EV, το κτίριο έχει υπερεκτεθεί και πλέον έχουν χαθεί πολλές λεπτομέρειες αλλά εμφανίζονται πολύ καλά μέρη του περιβάλλοντα χώρου όπως η πλατεία. Τέλος, στη λήψη (d) των +4 EV, το κτίριο έχει “καεί” τελείως όμως τα γύρω κτίρια φαίνονται πολύ καλά.

3.2.1.2 Δημιουργία εικόνας HDR με συγχώνευση των πολλαπλών λήψεων

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από εξειδικευμένα λογισμικά (Κεφάλαιο 3.4) τα οποία συγχωνεύουν τις εικόνες διαφορετικών εκθέσεων σε μία.

Αρχικό παράγωγο αυτής της συγχώνευσης των διαφορετικών εκθέσεων (exposure blending) είναι ένα αρχείο, ο χάρτης ακτινοβολίας (radiance map) το οποίο περιέχει όλο το καταγεγραμμένο δυναμικό εύρος των εικόνων. Η εικόνα HDR που δημιουργείται έχει 16 έως 32 bits βάθος. Το δυναμικό εύρος της εικόνας αυτής είναι τεράστιο και κατά πολύ μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη ενός υπολογιστή (Κεφάλαιο 1.5). Έτσι, προκειμένου να εμφανιστεί το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα στην οθόνη, το καταγεγραμμένο εύρος συγχωνεύεται σε εκείνο που μπορεί να εμφανιστεί και οι πιο φωτεινές περιοχές εμφανίζονται με τα πιο φωτεινά χρώματα της οθόνης κ.τ.λ. Αποτέλεσμα η εικόνα αυτή να είναι συνήθως επίπεδη και μη ικανοποιητική αισθητικά.

3.2.1.3 Χαρτογράφηση τόνων (tone mapping) της εικόνας HDR

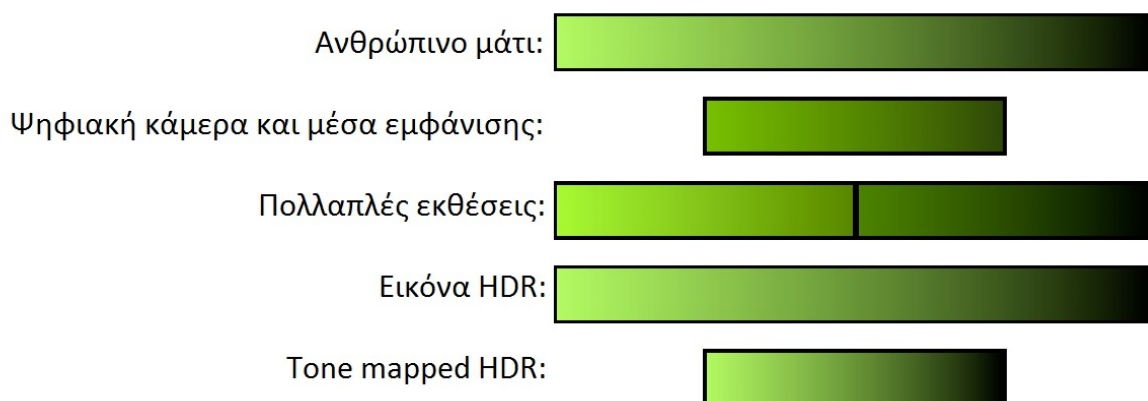
Στο στάδιο αυτό η εικόνα HDR (ή radiance map) επιδέχεται μία επεξεργασία γνωστή ως χαρτογράφηση τόνων (tone mapping) ώστε να είναι δυνατό να εμφανιστεί στις οθόνες των τυπικών μέσων εμφάνισης καθώς επίσης και να εκτυπωθεί. Επί της ουσίας πρόκειται για απόδοση του μεγάλου δυναμικού εύρους του radiance map σε πιο περιορισμένο εύρος ψηφιακών τιμών αφού η εικόνα HDR των 32 bit γίνεται 16 ή 8 bit (ανάλογα με το λογισμικό).

Το tone mapping γίνεται με δύο τρόπους, είτε συνολικά (global) είτε τοπικά (local). Όταν το tone mapping γίνεται συνολικά, λαμβάνονται υπ' όψιν το σύνολο των ψηφιακών τιμών της εικόνας και τα χαρακτηριστικά της και εφαρμόζεται με τον ίδιο τρόπο σε όλη την εικόνα. Αντίθετα, όταν γίνεται τοπικά για την τελική απόδοση ψηφιακής τιμής κάθε pixel λαμβάνεται υπ' όψιν η περιοχή γύρω από το pixel.

Οι δύο τρόποι διαφέρουν ως προς το αισθητικό τους αποτέλεσμα, καθώς ο μεν συνολικός τρόπος tone mapping έχει συνήθως πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα, ο δε τοπικός ενισχύει την αντίθεση και τις λεπτομέρειες στην εικόνα δημιουργώντας ένα πιο υπερρεαλιστικό (και πολλές φορές καλλιτεχνικό) αποτέλεσμα. Όμως αυτό δεν είναι κανόνας. Η τελική (tonemapped) εικόνα μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία με τους συμβατικούς τρόπους επεξεργασίας ψηφιακής εικόνας. Τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι συνήθως το φαινόμενο ghosting, το φαινόμενο halo και ο θόρυβος όμως είτε με τη βοήθεια του λογισμικού HDR είτε με μεταεπεξεργασία σε λογισμικά ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας τα προβλήματα αυτά μπορούν σε μεγάλο βαθμό να εξαλειφθούν (Κεφάλαιο 3.3).

Τελικά, η παραγόμενη εικόνα δεν είναι πραγματική HDR αλλά LDR αλλά έχει επικρατήσει να ονομάζεται HDR και τελικά όταν αναφέρεται ο όρος εικόνα HDR πρόκειται για tonemapped εικόνα χαμηλού δυναμικού εύρους. Σαφέστατα όμως έχει πολύ καλύτερη ποιότητα όσον αφορά το δυναμικό εύρος από μία εικόνα LDR μίας λήψης.

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



Πίνακας 3.1: Σχετική σχέση ανάμεσα στο δυναμικό εύρος διαφόρων μέσων
(ohanaware.com)

Ο παραπάνω πίνακας είναι ενδεικτικός της σχέσης ανάμεσα στο δυναμικό εύρος σε διάφορα μέσα. Παρατηρεί κανείς ότι ενώ οι πολλαπλές εκθέσεις και κατά συνέπεια και η αρχική εικόνα HDR (radiance map) περιέχουν το δυναμικό εύρος που μπορεί να καταγράψει το ανθρώπινο μάτι, η τελική tone mapped HDR εικόνα (που ουσιαστικά είναι LDR) δεν περιέχει εύρος μεγαλύτερο από όσο επιτρέπουν τα διαθέσιμα σήμερα μέσα εμφάνισης και εκτύπωσης. Όμως, ποιοτικά είναι κατά πολύ καλύτερη από μία συμβατική εικόνα LDR, όπως μπορεί κανείς να δει και στα παραδείγματα παρακάτω, λόγω του tone mapping που έχει υποστεί.



Εικόνα 3.18: Η τελική tone mapped εικόνα δημιουργημένη με τοπικό τελεστή (local operator) του παραδείγματος της Εικόνας 3.17
(wikipedia.com)

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*



(α)



(β)

*Εικόνα 3.19: (α) Λήψεις διαφορετικών εκθέσεων β) Η τελική εικόνα HDR
(easyhdr.com)*

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



(α)



(β)



(α)



(β)

Εικόνα 3.20: (α) Λήψεις με 0EV (β) Τελικές εικόνες HDR (lwn.net)

3.3 Λογισμικά δημιουργίας εικόνων HDR

Βασικές λειτουργίες όλων των λογισμικών που δημιουργούν εικόνες HDR είναι η συγχώνευση εικόνων διαφορετικών λήψεων σε μία εικόνα HDR 32-bit και το tone mapping της σε 16-bit ή 8-bit εικόνα LDR.

Κάποια από τα λογισμικά αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ενδεικτικά στις εξής ομάδες:

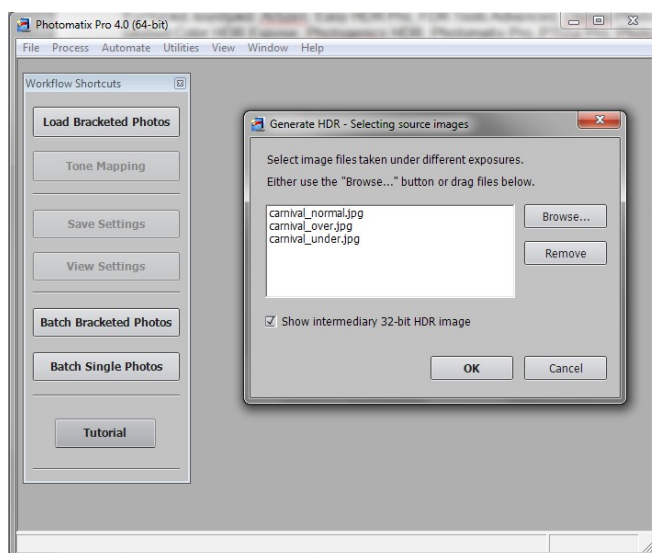
- Εμπορικά λογισμικά: Artizen, Easy HDR Pro, FDR Tools Advanced, Oloneo Photo Engine, Unified Color HDR Expose, Photogenics HDR, Photomatix Pro, PTGui Pro, Photoshop
- Δωρεάν λογισμικά: FDR Tools Basic, Picturenaut
- Λογισμικά ανοιχτού κώδικα: Hugin, pfstools, LuminanceHDR

Όπως συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις, κάθε ένα από τα παραπάνω λογισμικά έχει τα μειονεκτήματά και τα πλεονεκτήματά του καθώς και τις ιδιαίτερες λειτουργίες του. Επειδή σκοπός

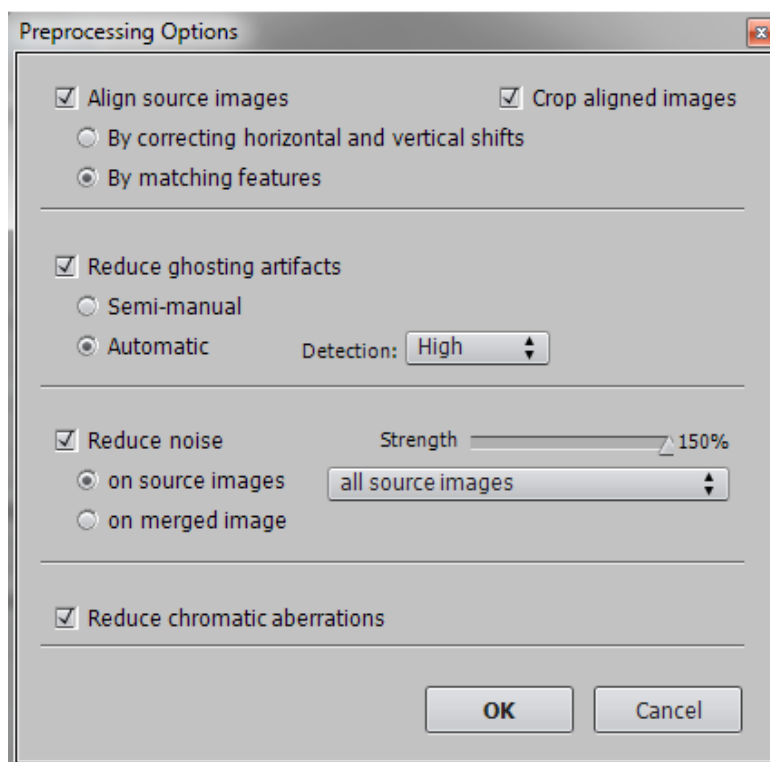
της παρούσας εργασίας δεν είναι η αναλυτική παρουσίαση και σύγκριση των παραπάνω λογισμικών παρά μία ενδεικτική επεξήγηση των βασικών διαδικασιών παραγωγής μίας εικόνας HDR, γίνεται σε αυτό το κεφάλαιο μία βασική παρουσίαση της διαδικασίας με χρήση του λογισμικού Photomatix Pro με κριτήριο ότι περιέχει τις πιο τυπικές και ενδεικτικές λειτουργίες και εντολές για τη δημιουργία μίας εικόνας HDR.

3.3.1 Δημιουργώντας μία εικόνα HDR

Η έκδοση του Photomatix Pro που χρησιμοποιείται είναι η 4.0 (64-bit). Οι εικόνες που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι 3 με εκθέσεις -2, 0, +2 EV και είναι τύπου .jpeg 8-bit. Η λήψη τους έχει γίνει με τη μηχανή Canon EOS – 1D Mark II και με ISO 400. Πηγή των εικόνων είναι η έκδοση Photomatix Essentials 3.1.1 η οποία της περιείχε σε ξεχωριστό αρχείο. Στην αρχική οθόνη γίνεται η εισαγωγή των εικόνων. Υπάρχει η επιλογή εμφάνισης της εικόνας HDR των 32-bit (radiance map).



Εικόνα 3.21: Εισάγοντας τις εικόνες



Εικόνα 3.22: Παράθυρο διαλόγου *Preprocessing Options*

Μετά την εισαγωγή των εικόνων εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου “Preprocessing Options” με τις παρακάτω σημαντικές επιλογές:

Align source image: Η επιλογή αυτή αφορά την ευθυγράμμιση των εικόνων. Ακόμα και εάν έχει χρησιμοποιηθεί τρίποδος για τη λήψη των εικόνων, ενδείκνυται να γίνει ευθυγράμμιση και από το ίδιο το λογισμικό. Για μεγαλύτερη ακρίβεια, επιλέγεται η ευθυγράμμιση να γίνει “by matching features”. Επιπλέον, με την περικοπή των ευθυγραμμισμένων εικόνων (crop aligned images) αφαιρούνται πλεονάζουσες μετά την ευθυγράμμιση περιοχές στα άκρα των εικόνων. Όπως έχει ήδη ειπωθεί, καλό είναι στο στάδιο των λήψεων να έχει επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ευθυγράμμιση ώστε να υπάρχει ελάχιστη εξάρτηση από το λογισμικό.

Reduce ghosting artifacts: Η επιλογή αυτή επιβάλλεται σε περίπτωση που στην σκηνή υπάρχουν κινούμενα αντικείμενα και άρα πιθανότητες να εμφανιστεί το φαινόμενο ghosting. Ενδείκνυται βέβαια να γίνεται πάντα γιατί μπορεί να υπάρχουν αντικείμενα που κινούνται αλλά δεν έχουν εντοπιστεί με το μάτι κατά τις λήψεις. Η αφαίρεση του ghosting μπορεί να γίνει είτε αυτόματα είτε ημι-αυτόματα, με την παρέμβαση του χρήστη.

Reduce noise: Για μείωση θορύβου, είτε στις αρχικές είτε κατευθείαν στην τελική και με διαβάθμιση της έντασης της επεξεργασίας.

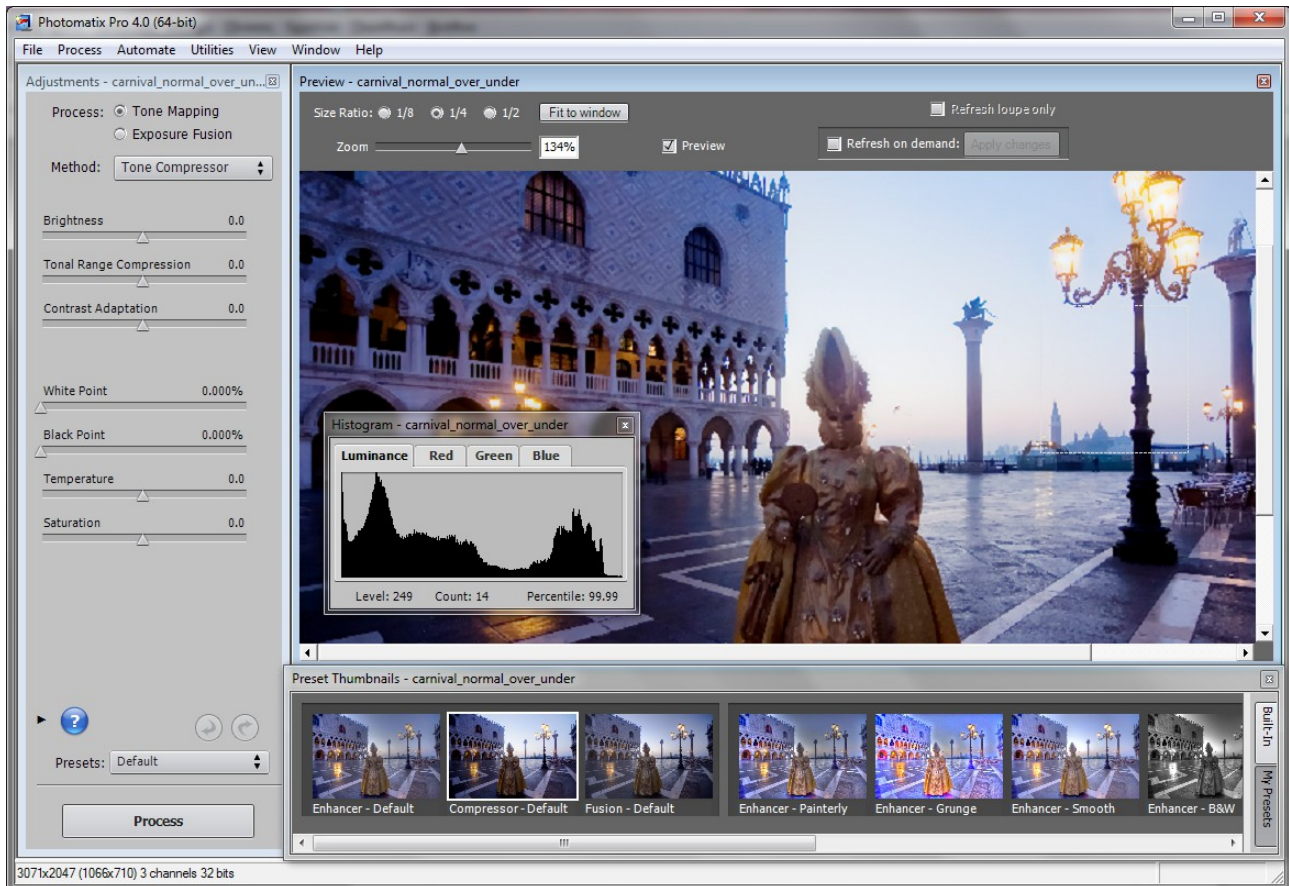
Reduce chromatic aberrations: Προκειμένου να μειωθούν κατά το δυνατό οι χρωματικές αποκλίσεις.

Όσοι πιο πολλές ενέργειες και επεξεργασίες καλείται να κάνει το λογισμικό, τόσο περισσότερο χρόνο απαιτεί, όμως το τελικό αποτέλεσμα είναι βελτιωμένο ποιοτικά. Μετά το τέλος αυτών των

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

επεξεργασιών, εμφανίζεται η ενδιάμεση εικόνα HDR των 32-bit (radiance map) που όμως εμφανίζεται αρκετά επίπεδη σε επίπεδο χρώματος και φωτεινότητας.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί το tone mapping, επιλέγεται η επιλογή Tone Mapping/Fusion.



Εικόνα 3.23: Επιφάνεια εργασίας

Στην επιφάνεια εργασίας εμφανίζονται όλες οι απαραίτητες επιλογές για το tone mapping της εικόνας.

Το tone mapping γίνεται με δύο τρόπους. Ο ένας είναι ο Tone Compressor και είναι συνολικός τρόπος επεξεργασίας (global). Δημιουργεί εικόνες χωρίς φαινόμενα halo (βλ. Κεφ. 3.5) και με μειωμένο θόρυβο αλλά δεν αναδεικνύονται λεπτομέρειες της εικόνας. Το αποτέλεσμα είναι συνήθως μία ρεαλιστική εικόνα. Ο άλλος τρόπος tone mapping είναι τοπικός (local), ο Details Enhancer, που δημιουργεί και υπερ-ρεαλιστικές αλλά και ρεαλιστικές εικόνες. Για κάθε τρόπο tone mapping υπάρχουν και προεπιλεγμένα στυλ που μπορούν να επιλεγθούν (grunge, B&W κ.ά.).

Για τους δύο τρόπους υπάρχουν πολλές επιλογές αλλαγής παραμέτρων της ψηφιακής εικόνας όπως ο κορεσμός χρώματος, η εξομάλυνση φωτισμού κ.τ.λ. Έτσι υπάρχει μεγάλη ελευθερία και έλεγχος στο τελικό αποτέλεσμα.

Σε πολλά λογισμικά προσφέρεται και ένας ακόμα τρόπος δημιουργίας της τελικής εικόνας, ο Exposure Fusion. Δεν πρόκειται για tone mapping αλλά περισσότερο για “ανακάτεμα

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

φωτεινότητων” και δεν είναι αυθεντική HDR διαδικασία παρ' όλο που κατά περίπτωση μπορεί να έχει καλά αποτελέσματα.

Παρακάτω μερικές εικόνες που παρήχθησαν:



Εικόνα 3.24: Tone mapping με Tone Compressor (global)



Εικόνα 3.25: Tone mapping με Details Enhancer (local)

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



Εικόνα 3.26: Tone mapping με Details Enhancer (local) και στυλ grunge



Εικόνα 3.27: Tone mapping με Details Enhancer (local) και στυλ B&W

3.3.2 Αρχεία raw: προεπεξεργασία και “ψευδο-HDR”

Πολλά λογισμικά HDR όπως και εξειδικευμένα λογισμικά επεξεργασίας εικόνων, έχουν τη δυνατότητα προ-επεξεργασίας αρχείων εικόνας raw που βελτιώνει την ποιότητά τους και κατά συνέπεια την ποιότητα της τελικής εικόνας HDR που παράγεται από τις αρχικές raw. Μία ακόμα

σημαντική δυνατότητα των αρχείων raw είναι η παραγωγή “ψευδο-HDR” (όπως είναι γνωστές) εικόνων από ένα μόνο αρχείο raw. Δημιουργούνται από τη συγχώνευση της raw εικόνας και άλλων 2 (ή και περισσότερων) εικόνων που δημιουργήθηκαν από την πρώτη με αλλαγή της έκθεσης. Ο λόγος που αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει με αρχεία raw είναι η μεγάλη πληροφορία δυναμικού εύρους που περιέχουν. Η τεχνική αυτή επιλέγεται όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης τρίποδα, όταν η σκηνή έχει πολλά κινούμενα αντικείμενα ή απλά αν κατά τη λήψη δεν υπήρχε η ιδέα δημιουργίας μίας αντίστοιχης HDR. Οι εικόνες ονομάζονται “ψευδο-HDR” γιατί δεν είναι αυθεντικές HDR αφού δεν δημιουργούνται από πολλές διαφορετικής έκθεσης και είναι κατώτερες ποιοτικά από τις κανονικές HDR, όμως μπορεί να έχουν ικανοποιητική εμφάνιση και “εφέ HDR”. (Nightingale, 2012)



*Εικόνα 3.28: Εικόνα ψευδο-HDR
(flickrriver.com)*

3.4 Αρχεία HDR

Οι εικόνες radiance map, δηλαδή οι πρωταρχικές HDR που παράγονται αρχικά από τη συγχώνευση των πολλαπλών λήψεων, είναι αρχεία εικόνων 32-bit. Τα περισσότερα λογισμικά μπορούν να εμφανίσουν τις εικόνες αυτές αλλά, όπως έχει ήδη ειπωθεί, τις περισσότερες φορές εμφανίζονται “επίπεδες” και χωρίς μεγάλο δυναμικό εύρος λόγω των περιορισμών της οθόνης. Μόνο αφού υποστούν tonemapping εμφανίζονται έχοντας το λεγόμενο “HDR εφέ” αλλά πλέον πρόκειται για εικόνες χαμηλού δυναμικού εύρους (LDR).

Οι εικόνες radiance map των 32-bit μπορούν να αποθηκευτούν ως αρχεία εικόνων υψηλού δυναμικού εύρους (HDR files), τα οποία όμως εμφανίζονται σαν κανονικές εικόνες σε εξειδικευμένα λογισμικά (openexr.com). Αν και δεν μπορεί να δει κανείς τις εικόνες αυτές με όλη την πληροφορία που περιέχουν ακόμα και σε εξειδικευμένα λογισμικά, τα περισσότερα αρχεία HDR περιέχουν όλη την πληροφορία εύρους και μπορούν να εισαχθούν σε HDR λογισμικά και να δεχτούν κανονική επεξεργασία. Μερικά αρχεία HDR είναι τύπου: .exr, .hdr, .pic, .pfs, .tiff κ. ά.. Σε κάθε περίπτωση, μία εικόνα τύπου HDR μπορεί να εμφανιστεί με βάση τους περιορισμούς της οθόνης.

Σε επόμενο στάδιο, αναλόγως την εφαρμογή και τις δυνατότητες των λογισμικών, η τελική εικόνα δέχεται περαιτέρω συμπίεση. Για παράδειγμα, μπορεί ένα λογισμικό να παράξει μία LDR tonemapped εικόνα (HDR για συντομία) 16-bit, όμως εάν υπάρχει ανάγκη να γίνει επεξεργασία της π.χ. σε κάποιο σχεδιαστικό περιβάλλον, αναγκαστικά θα δεχθεί συμπίεση και άρα χάσιμο πληροφορίας, στα 8-bit.

3.5 Ραδιομετρικά προβλήματα εικόνων HDR

Ένα βασικό ραδιομετρικό πρόβλημα μίας LDR tonemapped εικόνας είναι το φαινόμενο ghosting. Σε επίπεδο λήψεων πρέπει να προβλεφθεί να μην υπάρχει κίνηση εντός της σκηνής καθώς τα κινούμενα αντικείμενα θα εμφανίζονται θολά λόγω της διαφορετικής τους θέσης από λήψη σε λήψη. Ακόμα και σύννεφα ή φύλλα δέντρων μπορούν να δημιουργήσουν αυτό το φαινόμενο. Σε επίπεδο παραγωγής της εικόνας, τα HDR λογισμικά πραγματοποιούν deghosting κατά τη δημιουργία της εικόνας ενώ υπάρχει σε πολλά η δυνατότητα ημιαυτόματης αφαίρεσης του ghosting με εξειδικευμένες λειτουργίες.

Ένα άλλο ραδιομετρικό μειονέκτημα των εικόνων HDR είναι ο αυξημένος θόρυβος, ο οποίος όμως μπορεί να αποφευχθεί ως ένα σημαντικό σημείο εάν η απόσταση σε EV από λήψη σε λήψη είναι η μικρότερη δυνατή, δηλαδή 1EV. Δηλαδή για εύρος από -2EV έως +2EV, 5 λήψεις (-2,-1,0,+1,+2) δημιουργούν λιγότερο θόρυβο σε σύγκριση με 3 λήψεις (-2,0,+2). Περαιτέρω ψηφιακή επεξεργασία μπορεί να γίνει για μείωση του θορύβου, όπως και στις συμβατικές ψηφιακές εικόνες.

Τέλος, ένα ακόμα πολύ συχνό φαινόμενο που εμφανίζεται στις εικόνες HDR είναι το φαινόμενο του άλους (halo). Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται πολύ συχνά γύρω από αντικείμενα με φωτεινότερο από αυτά φόντο.



Εικόνα 3.29: Εικόνα HDR με έντονο halo (Directions, @DS)
(flickr.com)

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με εξομάλυνση φωτός (που όμως είναι πολύ πιθανό να κάνει την εικόνα επίπεδη και θαμπή) είτε με ψηφιακή επεξεργασία στα συνήθη προγράμματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας.

3.6 Εφαρμογές

Τα σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας εικόνων HDR, τις καθιστούν πολύτιμες και ιδανικές για πολλές εφαρμογές.

Η καλλιτεχνική ψηφιακή φωτογραφία

Όπως η αναλογική και η συμβατική ψηφιακή εικόνα, έτσι και η εικόνα HDR μπορεί να ξεφύγει από τις ανάγκες της απλής απεικόνισης και να περάσει στο επίπεδο της τέχνης και της καλλιτεχνικής δημιουργίας. Πολλές εικόνες HDR είναι μικρά έργα τέχνης και ίσως να οφείλεται σε αυτές τα τελευταία χρόνια το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την τεχνική HDR από αμήητους και ερασιτέχνες φωτογράφους.



Εικόνα 3.30: "Sunflowers & Old Wood" by Michael Bryan
Νικήτρια εικόνα 2011 της κατηγορίας HDR της κοινότητας της Nikon (Nikonians)
(nikonians.org)

HDR video

Η αύξηση του δυναμικού εύρους στον κινηματογράφο ή στο video, επιδιώκεται με την αύξηση της ευαισθησίας στην καταγραφή του δυναμικού εύρους από αισθητήρες και κάμερες, τουλάχιστον όσον αφορά στις σύγχρονες ταινίες. Ταινίες παλαιότερης τεχνολογίας μπορούν να αποκτήσουν μεγαλύτερο δυναμικό εύρος με επεξεργασία καρέ-καρέ - ανάλογη με αυτή που γινόταν στις ασπρόμαυρες ταινίες προκειμένου να γίνουν έγχρωμες. Μέχρι σήμερα, δεν έχουν γυριστεί ολόκληρες ταινίες με χρήση της τυπικής τεχνολογίας HDR, όμως αυτή χρησιμοποιείται για ειδικά εφέ. (wikipedia.org)

Παρ'όλα αυτά, έχουν δημιουργηθεί σύντομης διάρκειας video με τεχνολογία HDR, με δύο τρόπους. Ο ένας χρησιμοποιεί HDR1 αλλά δεν είναι τυπική βιντεοσκόπηση. Πρόκειται για time lapse video όπου μία σειρά εικόνων τραβηγμένων ανά κάποιο χρονικό διάστημα ενώνονται δημιουργώντας την εντύπωση κινούμενης εικόνας. Οι λήψεις αυτές μπορούν να γίνουν και με τον τρόπο που δημιουργούνται οι εικόνες HDR (πολλαπλές λήψεις διαφορετικών εκθέσεων).

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*



*Εικόνα 3.31: Καρέ από “Venice in HDR”, Luke Brooks
(vimeo.com)*

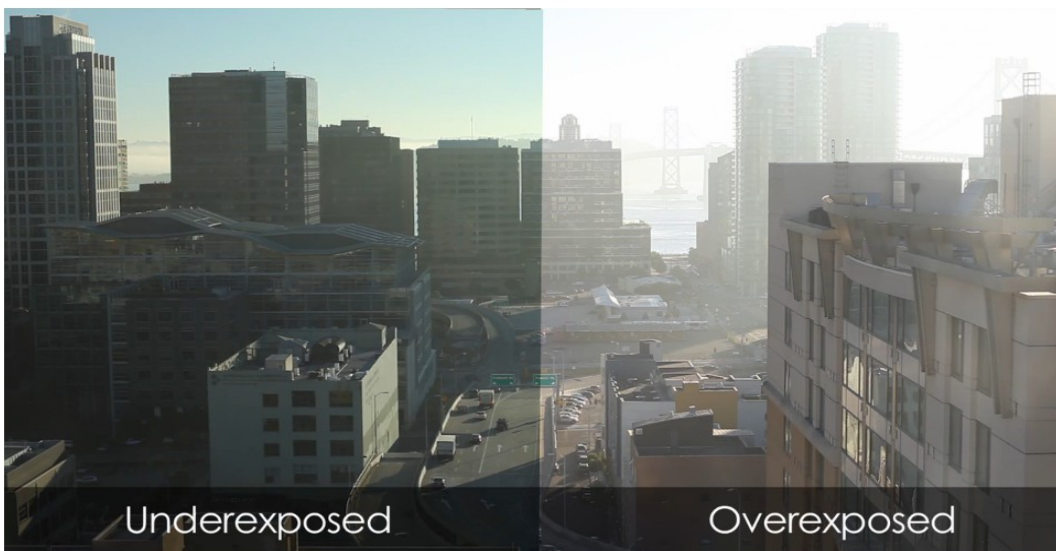
Ο άλλος τρόπος είναι η παράλληλη βιντεοσκόπηση από δύο κάμερες διαφορετικής έκθεσης με τη χρήση διαχωριστή δέσμης (beam splitter) για τη βιντεοσκόπηση ακριβώς του ίδιου αντικειμένου από τις κάμερες. (sovietmontage.com)

Ένα τέτοιο video δημιούργησε πρώτη το 2010 η εταιρεία Soviet Montage Productions με χρήση δύο Canon 5D Mark II's.

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*



(α)



(β)

Εικόνα 3.32: (α) Τελικό καρέ ενός video HDR και (β) δύο ξεχωριστά καρέ, ένα από κάθε κάμερα (sovietmontage.com)

Image Based Lighting με εικόνες HDR

Το Image Based Lighting (IBL) είναι μία τεχνική φωτισμού 3D εικόνων δημιουργημένων σε υπολογιστή. Στη συγκεκριμένη τεχνική, μία πανοραμική εικόνα με ρεαλιστικό φωτισμό, προβάλλεται και τελικά προσομοιώνεται με μία σφαίρα και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον φωτισμό σκηνών ή αντικειμένων με τρόπο ρεαλιστικό, τρισδιάστατο και χωρίς τη χρήση πολλών πηγών φωτός.

Οι εικόνες HDR χρησιμοποιούνται για την βελτιστοποίηση της συγκεκριμένης τεχνικής και την αύξηση του ρεαλισμού λόγω του μεγάλου δυναμικού εύρους που περιέχουν. Η τεχνική IBL χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικά παιχνίδια και άλλες εφαρμογές γραφικών υπολογιστών. (Reinhard et.al, 2010)

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

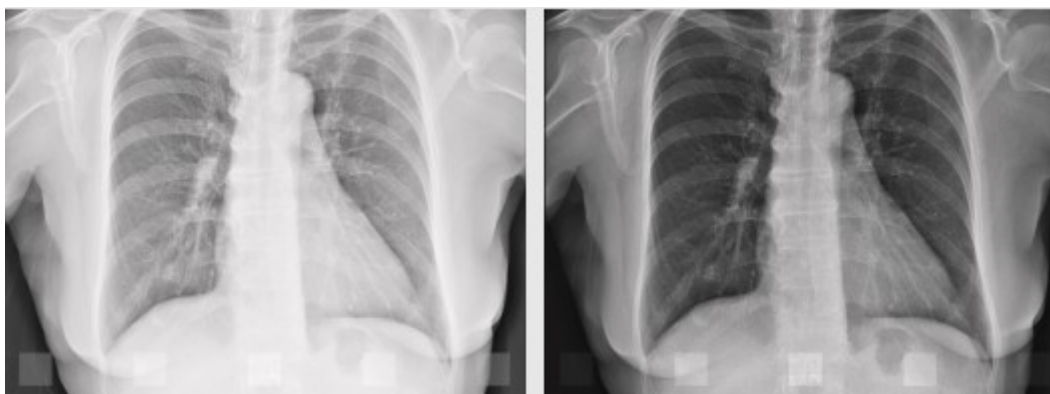


Εικόνα 3.33: Image-based lighting και HDRI
(pachromaticlight.wordpress.com)

Εικόνες HDR σε άλλες εφαρμογές

Η καταγραφή όλου του δυναμικού εύρους μίας σκηνής είναι αναγκαία σε πολλές επιστημονικές εφαρμογές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι εικόνες υψηλού δυναμικού εύρους του Charles Wysockoff όπου απεικονίζονταν εκρήξεις βομβών υδρογόνου. (Κεφ. 3.1).

Στον σύγχρονο ψηφιακό κόσμο, η καταγραφή του δυναμικού εύρους και η χαρτογράφηση της φωτεινότητας (luminance mapping) είναι εξίσου σημαντικά. Ενδεικτικός τομέας όπου η χαρτογράφηση της φωτεινότητας είναι εξαιρετικής σημασίας για την πιστότητα της εικόνας είναι οι ιατρικές απεικονίσεις όπου επιπρόσθετα είναι ιδιαίτερες οι απαιτήσεις των μέσων καταγραφής και εμφάνισης. (scien.stanford.edu)



Εικόνα 3.34: Απεικόνιση ανθρώπινου πνεύμονα με διαφορετικό αλγόριθμο χαρτογράφησης φωτεινοτήτων
(scien.stanford.edu)

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραφμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Άλλοι ενδεικτικοί τομείς είναι η τηλεπισκόπηση όπου το δυναμικό εύρος αφορά και στις περιοχές του φάσματος εκτός του ορατού φωτός καθώς και η αστρονομία.



Εικόνα 3.35: Το νεφέλωμα του Ωρίων (α) λήψεις πολλαπλών εκθέσεων (β) εικόνα HDR (nightsapes.net)

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

Στη φωτογραμμετρία οι εικόνες HDR μπορούν να συμβάλλουν πολύ θετικά (Κεφ. 4) καθώς οι βελτιωμένες ποιοτικά εικόνες HDR μπορούν να διευκολύνουν την όλη διαδικασία παραγωγής τελικών φωτογραμμετρικών προϊόντων αλλά και τα ίδια τα τελικά παράγωγα έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με αντίστοιχα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν συμβατικές εικόνες. Το Hope College του Michigan δημοσίευσε το 2011 εργασία κατά την οποία εικόνες HDR (δημιουργημένες από 3 λήψεις διαφορετικών εκθέσεων) έχουν χρησιμοποιηθεί για φωτογραμμετρική καταγραφή και μελέτη αμμόλοφων. Η συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποίησε εικόνες HDR προκειμένου με την υψηλή αντίθεση να επιτευχθεί σκόπευση σημείων επί των αμμόλοφων, κάτι που με συμβατικές εικόνες είναι εξαιρετικά δύσκολο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ HDR

4.1 Η συμβολή των εικόνων HDR σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές για την καταγραφή της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Η φωτογραμμετρία, ως μέθοδος καταγραφής, μπορεί να δημιουργήσει παράγωγα υψηλής γεωμετρικής ακρίβειας, όμως πολύ σημαντική είναι και η ποιοτική πληροφορία που φέρουν αυτά τα εικονιστικά φωτογραμμετρικά παράγωγα. Ειδικά σε εφαρμογές Πολιτιστικής Κληρονομιάς, όπου τα αντικείμενα είναι κινητά και ακίνητα μνημεία, παράγωγα όπως οι ορθοφωτογραφίες πρέπει να είναι πιστά ως προς την πραγματικότητα και να δίνουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για το αντικείμενο. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν τη μορφή, το χρώμα, την υφή των υλικών, τις οικοδομικές και διακοσμητικές λεπτομέρειες, την παθολογία (ρηγματώσεις, υγρασία, αποκολλήσεις υλικών κ.τ.λ.) του αντικειμένου και γενικότερα οποιοδήποτε ποιοτικό χαρακτηριστικό. Ειδικά τα παράγωγα που προορίζονται για εργασίες αποκαταστάσεων μνημείων, επιβάλλεται να περιέχουν όλες τις παραπάνω πληροφορίες ώστε να καταγράφεται με λεπτομέρεια η παρούσα κατάσταση του μνημείου, προκειμένου να ακολουθήσουν τα επόμενα στάδια της εργασίας αποκατάστασης. Βεβαίως, σε καμία περίπτωση δεν αρκεί η φωτογραφική καταγραφή για την λήψη αποφάσεων καθώς η επιτόπια μελέτη είναι επιβεβλημένη και μπορεί να λειτουργήσει ενισχυτικά ή ακόμα και διορθωτικά στην φωτογραφική καταγραφή. Σε κάθε περίπτωση όμως, ένα εικονιστικό φωτογραμμετρικό παράγωγο μπορεί να είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο υπόβαθρο καταγραφής και αρχειοθέτησης ποιοτικής πληροφορίας για μελλοντική, περαιτέρω μελέτη και έρευνα.

Βεβαίως, όσο πιο πλήρης ποιοτικά είναι μία εικόνα τόσο περισσότερο υποστηρίζεται και η γεωμετρική επεξεργασία. Για παράδειγμα, καλή ευκρίνεια και ανάδειξη αντιθέσεων κάνουν τη σκόπευση φωτοσταθερών και σημείων σύνδεσης πιο εύκολη, αυξάνοντας την ακρίβεια της διαδικασίας.

Για τους παραπάνω λόγους, είναι εξαιρετικά σημαντικό σε επίπεδο λήψης να γίνονται όλες εκείνες οι ενέργειες προκειμένου οι πρωτογενείς εικόνες να είναι υψηλής ποιότητας και τελικά να είναι ο χρήστης όσο το δυνατό γίνεται λιγότερο εξαρτημένος από τη μεταεπεξεργασία, η οποία πολλές φορές δεν μπορεί να δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Ο φωτισμός είναι μία καίρια παράμετρος της φωτογραφικής λήψης η οποία επηρεάζει πάρα πολύ το τελικό αποτέλεσμα. Ο σωστός φωτισμός επιτρέπει την ανάδειξη όλων των λεπτομερειών μίας σκηνής και άρα την καταγραφή τους. Ιδανικός φωτισμός για τις φωτογραμμετρικές λήψεις είναι ο ομοιόμορφος φωτισμός τριών τετάρτων με τον οποίο οι λεπτομέρειες αναδεικνύονται και δεν ισοπεδώνονται όπως με τον κατά μέτωπο φωτισμό ή δεν δημιουργούνται ανεπιθύμητες σκιές όπως με τον πολύ πλάγιο (Μακρής, 1999). Βεβαίως, όπως έχει αναλυθεί και στο Κεφάλαιο 2, είναι σπάνιο να βρεθούν αυτές οι φωτιστικές συνθήκες και πολύ δύσκολο και επίπονο να δημιουργηθούν.

Οι εικόνες HDR είναι μία εξαιρετικά χρήσιμη λύση σε περιπτώσεις που οι λήψεις γίνονται υπό δύσκολες φωτιστικές συνθήκες, παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων, συμβατικών τρόπων αντιμετώπισης των συνθηκών αυτών και μπορούν να φανούν πολύ χρήσιμες στις φωτογραμμετρικές εφαρμογές που αφορούν μνημεία. Ο λόγος είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις λήψεων εικόνων, ειδικά ακίνητων μνημείων, οι φωτιστικές συνθήκες είναι δύσκολες και απαιτητικές με αρνητικά αποτελέσματα στην τελική ποιότητα των εικόνων.

Στο παρακάτω παράδειγμα έχουν γίνει λήψεις από το εσωτερικό του Ναού του Ηφαίστου (Θησείο) στην περιοχή της Αρχαίας Αγοράς της Αθήνας. Στην Εικόνα 4.1 έχει γίνει λήψη της κύριας δυτικής

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

εισόδου και με την αυτόματη φωτομέτρηση η λήψη έκθεσης 0 EV παρουσιάζει πολλά προβλήματα καθώς στις σκοτεινές περιοχές έχουν χαθεί πολλές λεπτομέρειες, ο εξωτερικός χώρος έχει χαθεί εντελώς λόγω υπερέκθεσης και οι περιοχές του τοίχου γύρω από την είσοδο έχουν χάσει σε μεγάλο βαθμό λεπτομέρειες και υφή. Οι πέτρες εντός του ναού φωτίζονται και από την είσοδο της νότιας πλευράς (άρα υπάρχουν δύο πηγές φωτισμού) και έχουν επίσης εκτεθεί πολύ με αποτέλεσμα να μην φαίνεται καλά η υφή τους. Το μεγάλο δυναμικό εύρος της σκηνής είναι αδύνατο να καταγραφεί από τη μηχανή και έτσι η τελική εικόνα είναι επίπεδη και χωρίς τοπικές αντιθέσεις που αναδεικνύουν σημαντικές λεπτομέρειες όπως την κατάσταση των τοίχων και της οροφής.



Εικόνα 4.1: Λήψη έκθεσης 0 EV της δυτικής εισόδου από το εσωτερικό του ναού του Ηφαίστου

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

Με βάση το μεγάλο αυτό δυναμικό εύρος, αποφασίστηκε να γίνει η λήψη 3 εικόνων διαφορετικής έκθεσης (-2 EV, 0 EV, +2 EV) και οι εικόνες αυτές εισήχθησαν στο λογισμικό Photomatix Pro. Η χαρτογράφηση τόνων (tonemapping) έγινε με τοπικό τελεστή (global operator) προκειμένου να ενισχυθούν οι λεπτομέρειες, ενώ διατηρήθηκαν οι προεπιλεγμένες παράμετροι ψηφιακής επεξεργασίας του λογισμικού. Το αποτέλεσμα είναι η HDR Εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2: Εικόνα HDR της σκηνής της Εικόνας 4.1

Η εικόνα HDR που παρήχθη έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής (με έκθεση 0 EV) ως προς την ποσότητα της πληροφορίας που φέρει. Εκτός του ότι φαίνεται ο εξωτερικός χώρος, διακρίνονται επίσης και οι παθολογίες, όπως υγρασία και ρηγματώσεις στην οροφή και στους τοίχους.

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

Αντίστοιχα, η λήψη προς την ανατολική πλευρά του ναού παρουσιάζει επίσης πολλά προβλήματα. Το υπερβολικό εξωτερικό φως δημιουργεί μεγάλη αντίθεση στη σκηνή και είναι αδύνατο να διακριθούν ακόμα και τα περιγράμματα των κίωνων, ενώ το εσωτερικό του ναού φαίνεται υπερβολικά σκοτεινό.



Εικόνα 4.3: Λήψη έκθεσης 0 EV της ανατολικής εισόδου από το εσωτερικό του ναού

Με τον ίδιο τρόπο όπως στο προηγούμενο παράδειγμα, παρήχθη και η αντίστοιχη εικόνα HDR. (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: HDR εικόνα της ίδιας σκηνής

Στην εικόνα HDR, όλο το εσωτερικό του ναού έχει αποκτήσει πληροφορία και υφή καθώς διακρίνονται και περισσότερες λεπτομέρειες των εξωτερικών κιόνων. Με τις προεπιλεγμένες τιμές εμφανιζόταν πολύ έντονο φαινόμενο halo στο περίγραμμα των κιόνων, όμως βελτιώθηκε ως ένα σημείο με αύξηση της εξομάλυνσης (smoothing). Με χρήση λογισμικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας το φαινόμενο halo μπορεί να μειωθεί ακόμα πιο πολύ.

Το τελευταίο παράδειγμα είναι από τη Στοά του Αττάλου και προκειμένου να αποφευχθεί όσο το δυνατόν εισαγωγή θορύβου στην εικόνα, μειώθηκε το βήμα έκθεσης από λήψη σε λήψη και τελικά έγιναν 5 λήψεις με βήμα έκθεσης 1EV. Στην προκειμένη περίπτωση, το δυναμικό εύρος είναι

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

μικρότερο από τα δύο προηγούμενα παραδείγματα όμως και σε αυτή την εφαρμογή το αυξημένο δυναμικό εύρος της εικόνας HDR της προσδίδει μεγαλύτερη πιστότητα και περισσότερη πληροφορία. Ειδικά σε επίπεδο λεπτομερειών η HDR είναι πολύ πιο πλούσια καθώς φωτίζονται ισόρροπα όλες οι περιοχές της σκηνής, χωρίς να χάνονται πληροφορίες από τις φωτεινότερες ή τις σκοτεινότερες.



(α)



(β)

Εικόνα 4.5: Σκηνή εντός της Στοάς του Αττάλου (α) λήψη 0EV και (β) HDR εικόνα

Με βάση τα παραπάνω παραδείγματα αλλά και άλλα παραδείγματα της καθημερινής πρακτικής, γίνεται εμφανής η χρησιμότητα των εικόνων HDR σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές για την καταγραφή της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Για τη χρήση όμως εικόνων HDR στη φωτογραμμετρία είναι απολύτως αναγκαίο να ελεγχθεί εάν η διαδικασία δημιουργίας μίας εικόνας HDR μεταβάλλει τη γεωμετρική πληροφορία των πρωτογενών εικόνων και άρα εάν είναι αξιόπιστες μετρητικά.

4.2 Γεωμετρικός έλεγχος εικόνων HDR

4.2.1 Η αναγκαιότητα του ελέγχου

Προκειμένου οι εικόνες HDR να χρησιμοποιηθούν στις φωτογραμμετρικές εφαρμογές, είναι απαραίτητο να ελεγχθεί η γεωμετρική τους πιστότητα. Ο έλεγχος αυτός οφείλει να γίνει για να διαπιστωθεί εάν κατά τη δημιουργία της τελικής εικόνας HDR έχουν εισαχθεί σφάλματα και έχει αλλοιωθεί η κεντρική προβολή των επί μέρους εικόνων.

Τα βασικά σφάλματα που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της γεωμετρίας μίας εικόνας είναι τα παρακάτω (Σαμαρά, 2004):

- η ακτινική διαστρόφη, που οφείλεται στη διαφορετική διεύθυνση των προσπιπτουσών ακτίνων από εκείνη των εξερχόμενων από το εσωτερικό οπτικό κέντρο του φακού και προκαλεί μετατόπιση των σημείων από ή προς το σημείο συμμετρίας της, το οποίο συνήθως θεωρείται ότι είναι το πρωτεύον σημείο
- η ασύμμετρη παραμόρφωση, που εμφανίζεται λόγω μη ευθυγράμμισης των στοιχείων του φακού με τον οπτικό άξονα και έχει ακτινική και εφαπτομενική συνιστώσα
- η διαφορετική κλίμακα κατά x και y
- η μη καθετότητα των αξόνων

Τα κύρια στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού που περιγράφουν το μοντέλο της Κεντρικής Προβολής κατά τη στιγμή της λήψης είναι οι συντεταγμένες x_0, y_0 του πρωτεύοντος σημείου, η σταθερά c της μηχανής και οι τιμές της ακτινικής διαστρόφης.

Προκειμένου να συγκριθεί μία κανονική εικόνα και μία εικόνα HDR πρέπει να είναι γνωστά για κάθε μία όλα τα παραπάνω στοιχεία και σφάλματα. Για να θεωρηθούν οι εικόνες HDR γεωμετρικά αξιόπιστες, πρέπει τα προαναφερθέντα στοιχεία τους να μην απέχουν σημαντικά από εκείνα των αντίστοιχων κανονικών εικόνων ή εάν απέχουν να είναι γνωστά προκειμένου να πραγματοποιηθεί αποκατάσταση. Συνεπώς, για τον γεωμετρικό έλεγχό τους, απαιτείται βαθμονόμηση τόσο στις κανονικές όσο και στις εικόνες HDR.

4.2.2 Η διαδικασία της βαθμονόμησης

Η βαθμονόμηση έγινε με χρήση δύο φακών με τη μέθοδο χρήσης πεδίου ελέγχου με σημεία γνωστών συντεταγμένων.

Το πεδίο ελέγχου το οποίο χρησιμοποιήθηκε ήταν εκείνο του Κέντρου Μετρολογίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ στο οποίο προσημασμένα σημεία πάνω σε στύλους και πίνακες, ομοιόμορφα κατανομημένα, έχουν μετρηθεί και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες τους X, Y, Z είναι γνωστές με ακρίβεια 1/10 mm. Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα προσημασμένα σημεία των στύλων.



Εικόνα 4.6: Το Πεδίο Ελέγχου με τα προσημασμένα σημεία επί των στύλων, στο Κέντρο Μετρολογίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ

Οι λήψεις των εικόνων έγιναν με την ψηφιακή φωτογραφική μηχανή CANON EOS – 1Ds Mark III και χρησιμοποιήθηκε ένας φακός σταθεράς 50mm και ένας φακός σταθεράς 24mm. Για τις λήψεις που έγιναν με τον φακό των 24mm το ISO είχε ρυθμιστεί στην τιμή 200, ενώ για τις λήψεις που έγιναν με τον φακό των 50mm το ISO είχε τιμή 100. Η αυτόματη εστίαση (autofocus) ήταν απενεργοποιημένη.

Με τη χρήση κάθε φακού, έγιναν λήψεις από τρία διαφορετικά σημεία με συγκλίνοντες τους άξονες λήψης, προκειμένου να υπάρξει διαφορετική γεωμετρία. Καταβλήθηκε προσπάθεια να φαίνονται όλοι οι στύλοι από κάθε σημείο λήψης. Για κάθε φακό τα σημεία λήψης ήταν διαφορετικά λόγω διαφορετικής εστιακής απόστασης.

Από κάθε σημείο έγιναν 2-3 σετ αυτόματων διαδοχικών λήψεων με 5 διαφορετικές εκθέσεις (bracketed exposure) και συγκεκριμένα με εκθέσεις: -2, -1, 0, +1, +2, άρα 5 εικόνες για κάθε σετ. Συνολικά έγινε λήψη 55 εικόνων, 7 σετ για τον φακό των 24mm και 4 σετ για τον φακό των 50mm.

Οι εικόνες HDR δημιουργήθηκαν στο λογισμικό Photomatix Pro 4.0 χωρίς επιλογή αυτόματης ευθυγράμμισης ώστε να αποφευχθεί ενδεχόμενη γεωμετρική αλλοίωση στις παραγόμενες εικόνες και να μην επιβαρυνθούν εν γένει με παραπάνω επεξεργασία από το λογισμικό, ενώ το tone mapping έγινε με τοπικό τελεστή (συγκεκριμένα τον details enhancer) προκειμένου να ενισχυθούν τοπικές λεπτομέρειες για καλύτερη σκόπευση των στόχων πάνω στην εικόνα. Οι εικόνες που παρήχθησαν είναι τύπου .tiff βάθους 8-bit. Δεν είναι 16-bit παρά τις δυνατότητες του λογισμικού Photomatix διότι το Autocad στο οποίο έγινε η μέτρηση των εικονοσυντεταγμένων δεν μπορεί να επεξεργαστεί εικόνες μεγαλύτερες από 8-bit. Η συμπίεση αυτή δεν επηρεάζει την εσωτερική γεωμετρία των εικόνων παρά αφορά τη μείωση του μεγέθους των αρχείων.

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*



(a)



(b)

Εικόνα 4.7: Κανονική εικόνα του πεδίου ελέγχου (a) και η αντίστοιχη HDR εικόνα (b) με χρήση του φακού των 24mm.

Οι μετρήσεις των εικονοσυντεταγμένων των εικόνων έγιναν, όπως προαναφέρθηκε, στο λογισμικό Autocad με τη βοήθεια του πρόσθετου εργαλείου Toporest της ΦΩΤΟΠΟ ΕΠΕ. Μετρήθηκαν εικονοσυντεταγμένες των προσημασμένων σημείων σε 11 εικόνες (στις μεσαίες κάθε σει με έκθεση

0EV) και στις αντίστοιχες ισάριθμες HDR. Συνολικά, δημιουργήθηκαν 22 αρχεία .txt με τις εικονοσυντεταγμένες των εικόνων, τα οποία αρχεία χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Calibration_CCD (Σαμαρά, 2004).

Το πρόγραμμα Calibration_CCD εξήγαγε ένα αρχείο για κάθε εικόνα με τις τιμές των παρακάτω στοιχείων:

- x_0, y_0 : συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου
- c : σταθερά της μηχανής
- K_1, K_2 : παράμετροι πολυωνύμου ακτινικής διαστρόφης ($\delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5$)
- P_1, P_2 : παράμετροι ασύμμετρης παραμόρφωσης, η οποία είναι κυρίως κάθετη στην ακτίνα (r) και ιδιαίτερα αμελητέα σχεδόν σε όλες τις μηχανές ($P(r) = (P_1^2 + P_2^2)^{1/2} r^2$)
- $skew$: παράμετρος απόκλισης από την καθετότητα του άξονα x από τον y (ο άξονας x θεωρείται σταθερός)
- $scale$: παράμετρος κλίμακας άξονα y (ο άξονας x θεωρείται ότι έχει συντελεστή κλίμακας 1)

Όλες οι επιλύσεις είχαν σ posteriori σ_0 πολύ μικρό ($\sigma_0 < 0,30$ pixel) και γι' αυτό συμπεριλήφθηκαν όλες στα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα. Τα αποτελέσματα βρίσκονται συγκεντρωμένα στο "Παράρτημα 3: Γεωμετρικός Έλεγχος Εικόνων HDR"

4.2.3 Αποτελέσματα – συμπεράσματα

Στους παρακάτω πίνακες εμφανίζονται τα στοιχεία που εξήγαγε το CCD_Calibration για κάθε φακό. Τα στοιχεία αυτά προέκυψαν ως μέσοι όροι από τις βαθμονομήσεις όλων των κανονικών εικόνων και όλων των εικόνων HDR αντίστοιχα.

ΦΑΚΟΣ 24mm			
στοιχεία βαθμονόμησης	κανονικές εικόνες	εικόνες HDR	διαφορές
$x_0(mm)$	17,9735	17,9638	0,0097
$y_0(mm)$	11,7767	11,7859	-0,0092
$c(mm)$	24,5794	24,5791	0,0003
K_1	$-5,5729679 \cdot 10^{-9}$	$-5,4889647 \cdot 10^{-9}$	$-0,0840032 \cdot 10^{-9}$
K_2	$4,0124653 \cdot 10^{-16}$	$3,9612247 \cdot 10^{-16}$	$0,0512406 \cdot 10^{-16}$
P_1	$0,1166828 \cdot 10^{-8}$	$-4,7691927 \cdot 10^{-8}$	$4,8858755 \cdot 10^{-8}$
P_2	$-0,4749817 \cdot 10^{-8}$	$-2,6073374 \cdot 10^{-8}$	$2,11323557 \cdot 10^{-8}$
$skew$ (grad)	-0,00337	0,00252	-0,00589
$scale$	0,99984	0,99995	-0,00011

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα του λογισμικού Calibration_CCD για τον φακό σταθεράς 24mm

ΦΑΚΟΣ 50mm			
στοιχεία βαθμονόμησης	κανονικές εικόνες	εικόνες HDR	διαφορές
xo(mm)	17,7912	17,7875	0,0037
yo(mm)	11,7956	11,8549	-0,0593
c(mm)	51,8443	51,8258	0,0185
K1	-2,7852160 *10 ⁻⁹	-2,7113328 *10 ⁻⁹	-0,0738832* 10 ⁻¹⁶
K2	0,90193218 *10 ⁻¹⁶	0,80450523 *10 ⁻¹⁶	0,09742694*10 ⁻¹⁶
P1	0,0799048 *10 ⁻⁸	0,3039591 *10 ⁻⁸	-0,2240544 *10 ⁻⁸
P2	-1,7566065 *10 ⁻⁸	-6,3031128 *10 ⁻⁸	4,5465064 *10 ⁻⁸
skew (grad)	0,00153	0,00034	0,00119
scale	0,99992	1,00010	-0,00018

Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα του λογισμικού Calibration_CCD για τον φακό σταθεράς 50mm

Αρχικά, παρατηρείται ότι τα xo, yo, c, K1,K2, skew και scale έχουν μεν διαφορές που όμως είναι αμελητέες έτσι ώστε να μπορεί με ασφάλεια να θεωρηθεί ότι μεταξύ των κανονικών εικόνων και των εικόνων HDR τα στοιχεία αυτά πρακτικά δεν μεταβάλλονται. Εκεί που εντοπίζεται διαφορά και για τους δύο φακούς είναι στις παραμέτρους της ασύμμετρης παραμόρφωσης. Όμως, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ασύμμετρη παραμόρφωση είναι αμελητέα σε σύγκριση με την ακτινική διαστρόφη.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, οι διαφορές που προέκυψαν μπορεί να θεωρηθούν ότι δεν υποδηλώνουν μεταβολή της γεωμετρίας της εικόνας με τη διαδικασία HDR και άρα η παράγωγη εικόνα είναι αξιόπιστη γεωμετρικά για τη χρήση της σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές.

4.3 Τρισδιάστατη Χαρτογράφηση Κινδύνων σε Εφαρμογές Πολιτιστικής Κληρονομιάς (3D Risk Mapping in Heritage Study Case)

Μία σημαντική εφαρμογή που αφορά τα μνημεία και εμπλέκεται η φωτογραμμετρία και με τη σειρά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι απεικονίσεις HDR είναι η Χαρτογράφηση Κινδύνων (Risk Mapping). Η εκτίμηση κινδύνων είναι ένα θεμελιώδες κεφάλαιο στην υπόθεση προστασίας και αποκατάστασης των μνημείων. Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται μία σύντομη αναφορά στο συγκεκριμένο θέμα αλλά και στους τρόπους πρόληψης των κινδύνων στους οποίους εμπλέκεται η φωτογραμμετρία. Προφανώς οι ίδιες μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλες περιπτώσεις (φράγματα, γέφυρες, πρανή, βιομηχανικά κτίρια κ.ά.).

Οι βλάβες και οι παθολογίες που αφορούν τα μνημεία είναι στατικής φύσεως (πχ. μετατοπισμένοι σφόνδυλοι κιόνων ναών που προοδευτικά δεν μπορούν να φέρουν επαρκώς το βάρος της οροφής, αποκολλήσεις οικοδομικών υλικών) αλλά και χημικής - ποιοτικής (πχ. υγρασία και ανάπτυξη μυκήτων ή αμμωνία από περιπτώματα περιστεριών που καταστρέφουν τα οικοδομικά και διακοσμητικά υλικά, αποκολλήσεις διακοσμητικών υλικών και μερών). Κάποιες από τις παραπάνω βλάβες και παθολογίες δημιουργούνται με το πέρασμα του χρόνου υπό την επίδραση κυρίως των καιρικών και γενικότερων περιβαλλοντικών συνθηκών και όταν ένα μνημείο δεν προστατεύεται επαρκώς. Μπορούν όμως να εμφανιστούν και βίαια από σεισμούς, εκρήξεις ηφαιστειών αλλά και πολέμους. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η επίδραση των δονήσεων, από τη σύρραξη Ισραήλ –

Λιβάνου το 2006, στην αρχαία ρωμαϊκή πόλη Baalbek (UNESCO, World Heritage, 1984) στον Λίβανο.



*Εικόνα 4.8: Η βορειο-δυτική ημικυκλική αίθουσα του Μεγάλου Δικαστηρίου στην αρχαία ρωμαϊκή πόλη Baalbek στον Λίβανο
(Protecting Baalbek's Integrity, KUL/UNESCO/Ministry of Culture -Lebanon)*

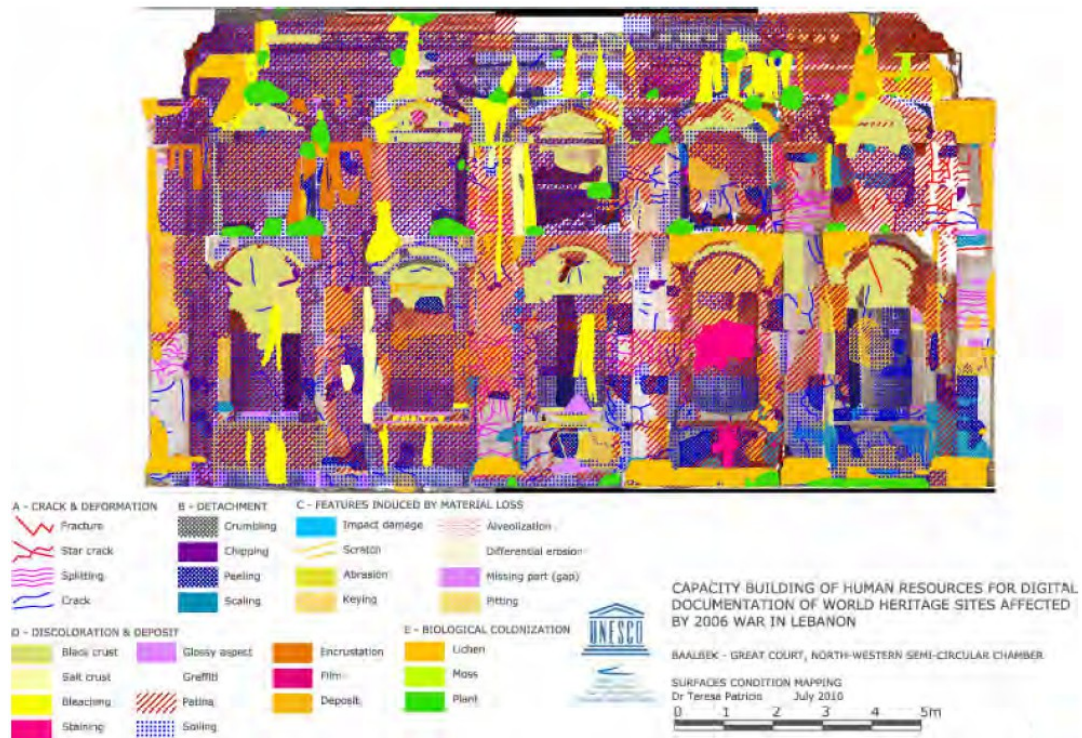
Τα προβλήματα αυτά που εμφανίζονται στα μνημεία δεν αποτελούν κίνδυνο μόνο για τα ίδια αλλά και για την ίδια την ανθρώπινη ζωή καθώς είτε αυτά είναι επισκέψιμα είτε χρησιμοποιούνται ως συναυλιακοί χώροι κ.τ.λ. Συνεπώς, είναι διπλής σημασίας ο εντοπισμός και η αντιμετώπιση εκείνων των βλαβών που σχετίζονται με σημαντικούς κινδύνους παρακμής έως και καταστροφής ενός μνημείου.

Η τεχνολογία των σαρωτών laser (laser scanning) σε συνδυασμό με φωτογραμμετρικές και κλασικές τοπογραφικές μεθόδους αλλά και χρήση GIS μπορούν να δημιουργήσουν παράγωγα αποφασιστικής σημασίας για την καταγραφή, μελέτη και αντιμετώπιση υπαρχόντων κινδύνων που απειλούν τα μνημεία αλλά και για την πρόληψη επερχόμενων. Με τη βοήθεια αυτών των παραγώγων και ανάλογα με την ακρίβεια της μεθόδου που κάθε φορά χρησιμοποιείται είναι εφικτό να εντοπιστούν στατικές (π.χ. ρωγμές) και μη (π.χ. υγρασία) βλάβες του μνημείου. Ειδικά η τεχνολογία laser scanning, σαν μία μέθοδος τεκμηρίωσης που δεν απαιτεί επεμβάσεις στο χώρο του μνημείου, το προστατεύει από αλλοιώσεις που οι κλασικές τοπογραφικές εργασίες μπορεί να επιφέρουν.

Επιπλέον, εκτός από την προστασία του μνημείου, οι σύγχρονες μέθοδοι καταγραφής και παρουσίασης τρισδιάστατης πληροφορίας που αφορούν τα μνημεία χρησιμοποιούνται και σε εφαρμογές τουριστικού ενδιαφέροντος. Πλέον για όλο και περισσότερα μνημεία του κόσμου δημιουργούνται ψηφιακά, τρισδιάστατα περιβάλλοντα εξομοίωσης περιήγησης εντός του μνημείου.

Η αναγκαιότητα ακριβούς γεωμετρικής πληροφορίας που φέρει η ορθοφωτογραφία είναι δεδομένη και θα ήταν πλεονασμός να αναλυθεί περισσότερο στη συγκεκριμένη εργασία. Είναι σημαντικό όμως να αναδειχθεί και η ανάγκη υψηλής ποιοτικής πληροφορίας στην ορθοφωτογραφία καθώς καθίσταται πολύ σημαντική όταν χρησιμοποιείται όχι μόνο για την γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου αλλά και σαν υπόβαθρο - συνήθως σε περιβάλλον GIS – για την χαρτογράφηση των κινδύνων (risk mapping) και βλαβών καθώς και για την χαρτογράφηση επεμβάσεων, φάσεων και υλικών του μνημείου.

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



Εικόνα 4.9 : Risk Mapping στη βορειο-δυτική ημικυκλική αίθουσα του Μεγάλου Δικαστηρίου στην αρχαία ρωμαϊκή πόλη Baalbek στον Λίβανο (Protecting Baalbek's Integrity, KUL/UNESCO/Ministry of Culture -Lebanon)

Οι εικόνες HDR με όλα τα πλεονεκτήματά τους μπορούν να βελτιώσουν πάρα πολύ την ποιότητα των ορθοφωτογραφιών και κατά συνέπεια να στηρίξουν και να βελτιώσουν τη διαδικασία της χαρτογράφησης κινδύνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΗΨΕΩΝ HDR

5.1 Εισαγωγή

Στη φλαμανδική πόλη Leuven του Βελγίου βρίσκεται το παλαιότερο σε λειτουργία καθολικό πανεπιστήμιο του κόσμου, το Katholieke Universiteit Leuven (KUL). Σε συνεργασία με το συγκεκριμένο Πανεπιστήμιο και το Raymond Lemaire International Centre for Conservation (RLICC) πραγματοποιήθηκε και η παρούσα διπλωματική εργασία.

Στα πλαίσια των σπουδών τους στο master Συντήρησης Μνημείων και Τοπίων (Master of Science in Conservation of Monuments and Sites - MCMS) του πανεπιστημίου KU Leuven, οι φοιτητές καλούνται κάθε χρόνο, υπό μορφή ομάδων, να φέρουν εις πέρας μία ολοκληρωμένη εργασία σχεδιασμού αποκατάστασης ενός κτιρίου - μνημείου. Μία από αυτές τις ομάδες κατά το ακαδημαϊκό έτος 2010-2011 είχε ως αντικείμενο μελέτης (IPW 3: Saint Francis Xavier Church) τον ναό του Αγίου Φραγκίσκου Ξαβεριού ο οποίος βρίσκεται στον δήμο Anderlecht των Βρυξελλών, στην περιοχή Kuregem.

Σκοπός ήταν η πλήρης ανάλυση του ναού (αρχιτεκτονική, στατική, πολεοδομική, ιστορική, κοινωνική, αστική κ.ά.) και η παράδοση μίας ολοκληρωμένης πρότασης αποκατάστασης και επανάχρησης του ναού. Η επανάχρηση δεν αφορούσε αποκλειστικά θρησκευτικούς σκοπούς αλλά οποιαδήποτε μορφή που θα μπορούσε να εξυπηρετεί κοινωνικά τόσο την περιοχή του Kuregem όσο και τον δήμο του Anderlecht ευρύτερα. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας εντάχθηκε ως ένα σημείο η παρούσα εφαρμογή.

5.2 Γενικές πληροφορίες της περιοχής

Βέλγιο– Βρυξέλλες – Άντερλεχτ

Το Βέλγιο (België/Belgique/Belgien) ή επισήμως το Βασίλειο του Βελγίου είναι μία ευρωπαϊκή χώρα στη Βορειοδυτική Ευρώπη η οποία συνορεύει με την Ολλανδία, τη Γερμανία και το Λουξεμβούργο. Ο πληθυσμός του Βελγίου είναι λίγο πάνω από δέκα εκατομμύρια κάτοικοι και η έκταση της χώρας είναι 30.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το Βέλγιο είναι μία χώρα διοικητικά, πολιτιστικά και γλωσσικά διαιρεμένη με ένα πολυσύνθετο σύστημα διακυβέρνησης. Στο Βόρειο τμήμα του, που αποτελεί ξεχωριστό διοικητικό τμήμα και ονομάζεται Φλάνδρα, ομιλείται η φλαμανδική γλώσσα (μία διάλεκτος της ολλανδικής γλώσσας που όμως δεν διαφέρει πολύ) ενώ στο νότιο, που είναι επίσης ξεχωριστό διοικητικό τμήμα, τη Βαλλωνία, ομιλείται η γαλλική γλώσσα. Τρίτο ξεχωριστό διοικητικό τμήμα του Βελγίου είναι η περιφέρεια των Βρυξελλών που είναι επισήμως δίγλωσση (φλαμανδικά και γαλλικά) ενώ στα ανατολικά υπάρχει μία μικρή περιοχή στην οποία έχει επισήμως αναγνωριστεί μειονότητα γερμανόφωνων Βέλγων, που όμως δεν αποτελούν ξεχωριστή διοικητική περιφέρεια. Το Βέλγιο είναι μία χώρα εξαιρετικού αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος και με πλούσια πολιτιστική κληρονομιά. Η οικονομία της χώρας βασίζεται στον τριτογενή τομέα παραγωγής. Στο Βέλγιο φιλοξενούνται τα αρχηγεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς και του NATO.

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



Εικόνα 5.1: Ευρώπη – Βέλγιο – Βρυξέλλες
(wikipedia.com)

Πρωτεύουσα του Βελγίου είναι η πρωτεύουσα της Περιφέρειας των Βρυξελλών, η δίγλωσση πόλη Βρυξέλλες (Brussel/Bruxelles). Οι Βρυξέλλες αποτελούν το διοικητικό κέντρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κυριολεκτικά το όνομά τους στην παλιά ολλανδική γλώσσα σημαίνει “σπίτι στον βάλτο”. Η πόλη έχει 140.000 κατοίκους, εκτείνεται σε μία έκταση 161 τετραγωνικών χιλιομέτρων και αποτελείται από 19 δήμους. Ολόκληρη η περιφέρεια των Βρυξελλών έχει ένα εκατομμύριο κατοίκους. Οι Βρυξέλλες είναι μία πολύ παλιά πόλη, η ιστορία της οποίας είναι στενά συνδεδεμένη με την ιστορία της Ευρώπης. Το 1979 γιόρτασε μία χιλιετία ζωής. Αναλογικά με το μέγεθός της, η πόλη των Βρυξελλών παρουσιάζει αξιοσημείωτο πολιτιστικό ενδιαφέρον τόσο αρχιτεκτονικά όσο και λόγω της πλούσιας πολιτιστικής ζωής της. (wikipedia.org)

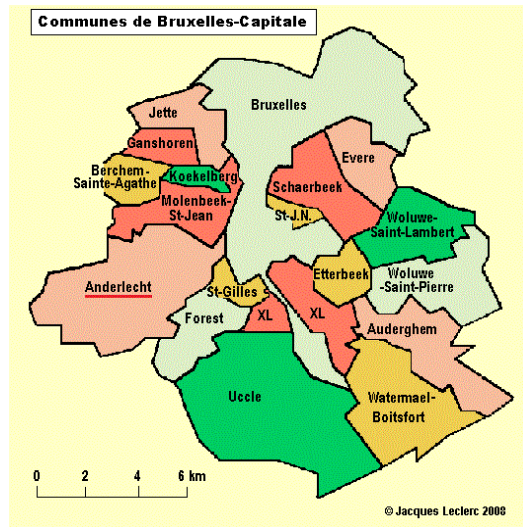


Εικόνα 5.2: Η περίφημη Grand' Place των Βρυξελλών
(mycontinent.com)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η Περιφέρεια των Βρυξελλών αποτελείται από 19 δήμους, ένας εκ των οποίων είναι το Anderlecht. Το Anderlecht βρίσκεται ανατολικά και είναι μία περιοχή εξίσου παλιά με τις Βρυξέλλες, με σημαντικά μεσαιωνικά και μπαρόκ αξιοθέατα, όπως “Το σπίτι του Έρασμου” και η εκκλησία του Αγίου Πέτρου και του Αγίου Γκουίντο. Το Anderlecht έχει σχεδόν 105

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

χιλιάδες κατοίκους, εκ των οποίων σχεδόν το 25% δεν είναι Βέλγοι. (www.anderlecht.be)
Σήμερα, η περιοχή του Anderlecht αντιμετωπίζει σημαντικά οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα όπως ανεργία, φτώχεια και εγκληματικότητα, λόγω της συνεχούς υποβάθμισής της και εν μέρει λόγω της παρουσίας μεταναστών για τους οποίους η κρατική πρόνοια δεν είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα. Η παρουσία πολλών μη καθολικών κατοίκων αλλά και το ολοένα χαμηλότερο ενδιαφέρον των καθολικών όχι μόνο στο Anderlecht αλλά και σε όλο το Βέλγιο για τη θρησκεία και το τυπικό της, έχει οδηγήσει στον μαρασμό αξιοσημείωτων αρχιτεκτονικά ναών, ένας εκ των οποίων είναι και ο νεογοθτικός ναός του Αγίου Φραγκίσκου Ξαβερίου στην γειτονιά του Kuregem. (MCMS KU Leuven 2010-2011/IPW 3:Saint Francis Xavier)



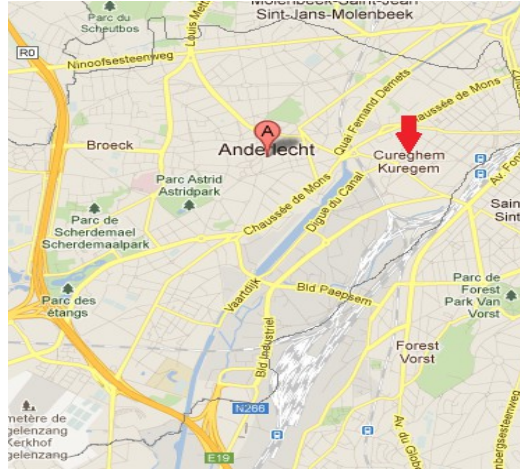
Εικόνα 5.3: Το Anderlecht στον χάρτη της Περιφέρειας των Βρυξελλών (tflq.ulaval.ca)



Εικόνα 5.4: Γειτονιά στο Anderlecht

5.3 Ο ναός του Αγίου Φραγκίσκου Ξαβεριού¹

Ο καθολικός ναός του Αγίου Φραγκίσκου Ξαβεριού βρίσκεται στην περιοχή Kuregem (γαλ. Cureghem), βορειοανατολικά του Anderlecht, κοντά στον σταθμό Gare du Midi, ενός από τους μεγαλύτερους σταθμούς τρένων του Βελγίου.



Εικόνα 5.5: Η περιοχή του ναού στον χάρτη του Άντερλεχτ (maps.google.com)



Εικόνα 5.6: Ο καθολικός ναός του Αγίου Φραγκίσκου Ξαβεριού στο Anderlecht των Βρυξελλών

Ο ναός είναι νεογοθτικής νοοτροπίας και σχεδιάστηκε το 1911 από τον αρχιτέκτονα Leopold Peremans ενώ άρχισε να χτίζεται ένα χρόνο μετά, μετά από έγκριση της Βασιλικής Επιτροπής Μνημείων και Αρχαιολογικών Χώρων (RCMS). Εγκαινιάστηκε το 1915 ενώ όλα τα επόμενα χρόνια στον ναό έγιναν προσθήκες (μνημείο πολέμου το 1923, παράθυρα με υαλογραφήματα το 1931 κ.ά.), ανακαινίσεις (1947), βελτιώσεις (εγκατάσταση συστήματος θέρμανσης το 1971 κ.ά.) καθώς και βελτιωτικές επεμβάσεις που αφορούσαν τη στατικότητα του.



*Εικόνα 5.7: Από τις εργασίες κατασκευής
(IPW 3: Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010-2011)*

Ο ναός είναι σταυροειδής με ένα μεγάλο, κεντρικό κλίτος που πλαισιώνεται από δύο χαμηλότερα και στενά κλίτη. Το ιερό είναι εξωτερικά επταγωνικό. Η συνολική τυπολογία του το κατατάσσει στον τύπο της ψευδο – βασιλικής. Η κατεύθυνση της εκκλησίας είναι νοτιοανατολική – βορειοδυτική. Οι γενικές διαστάσεις είναι: 60m μήκος × 40m πλάτος × 32m ύψος (ύψος του κεντρικού κλίτους). Καλύπτει μία συνολική επιφάνεια 1500m² η οποία με τα εξωτερικά κτίσματά του φτάνει τα 1659m². Η κύρια είσοδος του βρίσκεται στο κεντρικό νοτιοανατολικό αέτωμα. Η πρόσβαση στο κτίριο γίνεται και από άλλες 3 εισόδους ενώ η πρόσβαση στις γαλαρίες γίνεται από σκάλες που βρίσκονται σε πύργους των πλαϊνών πλευρών του. Τέλος, το σκευοφυλάκιο βρίσκεται σε ένα εξωτερικό κτήριο στην βορειοδυτική πλευρά το οποίο συνδέεται με τον κύριο ναό μέσω ενός διαδρόμου.



(a)



(b)

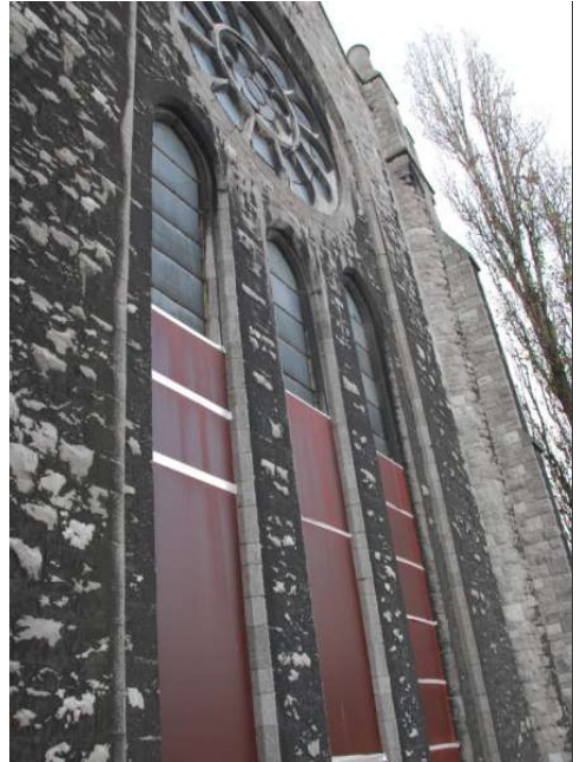
Εικόνα 5.8: (a) Εσωτερικό του ναού όπως φαίνεται από την κύρια είσοδο (b) “Box in a box” - το ξύλινο παρεκκλήσι
(IPW 3: Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010-2011)

Με την πάροδο των χρόνων όλο και λιγότεροι πιστοί επισκέπτονταν την εκκλησία ενώ παράλληλα το πρόβλημα της μη επαρκούς θέρμανσης έκανε τις λειτουργίες και την παραμονή στο χώρο δύσκολες για τους πιστούς. Έτσι, το 1984 δημιουργήθηκε ένα παρεκκλήσι στο οποίο συγκεντρώνονται πλέον οι εκκλησιαζόμενοι κατά τους χειμερινούς μήνες προκειμένου να προστατευθούν από το κρύο και την υγρασία. Επειδή πλέον ο αριθμός τους είναι μικρός μπορούν και εξυπηρετούνται άνετα στο παρεκκλήσι αυτό. Το παρεκκλήσι είναι ξύλινο και πήρε με τον καιρό το όνομα “box in a box”. Αποτέλεσμα ήταν η σταδιακή παρακμή του υπόλοιπου ναού καθώς δεν λαμβάνονταν μέτρα ούτε πρόληψης ούτε καταστολής των ζημιών που προκαλούσε και εξακολουθεί να προκαλεί το κρύο, η υγρασία αλλά κυρίως η εγκατάλειψη.

Το 1997 και λόγω της δυσχερούς οικονομικής κατάστασης της ενορίας, γίνεται πρόταση κατεδάφισης της εκκλησίας, όμως ένα μήνα μετά η αρμόδια αρχή (RCMS) απορρίπτει την πρόταση και αντί αυτού, ζητά την προστασία και αποκατάσταση του ναού. Το 1998 κατατίθεται από την RCMS συνολική πρόταση αποκατάστασης και το 2008 αποφασίζεται η προστασία του ναού ως μνημείου και η ένταξή του σε Ζώνη Προστασίας από την Κύρια Περιφερειακή Αρχή των Βρυξελλών.



(α)



(β)



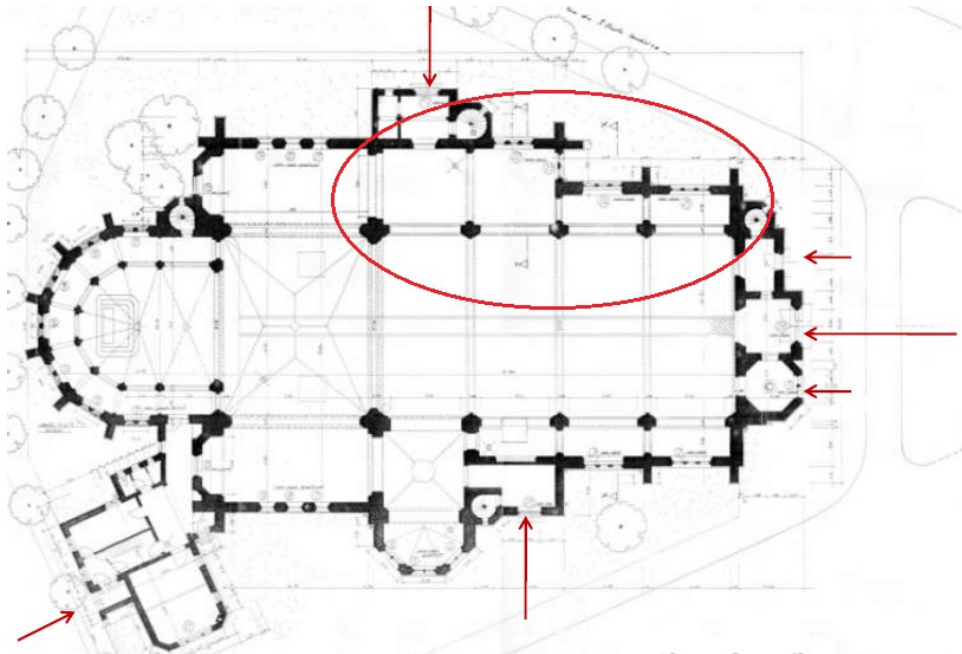
(γ)

Εικόνα 5.9: Ενδεικτική παθολογία (α) υγρασία (β) σπασμένα παράθυρα (γ) διάβρωση στους αρμούς
(IPW 3: Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010-2011)

Σε συνεννόηση με την ομάδα των φοιτητών και τον καθηγητή Mario Santana Quintero, αποφασίστηκε η συνεισφορά στην τεκμηρίωση του ναού της παρούσας διπλωματικής εργασίας να αφορά την παραγωγή ορθοφωτογραφίας της όψης της βόρειας γαλαρίας που περιέχει το ξύλινο παρεκκλήσι

Η παραπάνω εργασία σκοπό είχε την υποστήριξη της μελέτης αποκατάστασης και επανάχρησης του ναού. Η ορθοφωτογραφία, με ποιοτική και ποσοτική πληροφορία που αφορά το ξύλινο παρεκκλήσι αλλά και την κατάσταση και την παθολογία της γαλαρίας όπως φαίνεται σε όψη, σκοπό είχε να παίξει σημαντικό ρόλο στις περαιτέρω αποφάσεις που θα προέκυπταν από την

ολοκληρωμένη ανάλυση του μνημείου.



Εικόνα 5.10: Παλιά κάτοψη της εκκλησίας με επισημασμένες τις εισόδους και τη γαλαρία για την οποία παρήχθη ορθοφωτογραφία (IPW 3: Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010-2011)

1. IPW 3: Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010-2011

5.4 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων για παραγωγή ορθοφωτογραφιών

5.4.1 Αναγνώριση της περιοχής μελέτης

Προκειμένου οι μετρήσεις και γενικότερα όλες οι εργασίες πεδίου να καταστούν όσο πιο αποτελεσματικές γίνεται σε περιεχόμενο αλλά επίσης και όσο το δυνατόν πιο οικονομικές σε χρόνο, είναι απαραίτητη η εκτενής αναγνώριση της περιοχής μελέτης.

Έχοντας ολοκληρωμένη εικόνα του προς αποτύπωση αντικειμένου αλλά και του περιβάλλοντα χώρου είναι δυνατόν να προγραμματισθούν οι εργασίες πεδίου με τρόπο ορθολογικό που θα λαμβάνουν υπ' όψη όλες τις ιδιαιτερότητες και απαιτήσεις του αντικειμένου αλλά και του χώρου στον οποίο βρίσκεται.

Για την παρούσα εργασία, η αναγνώριση της περιοχής έγινε την ίδια χρονική περίοδο με τη λήψη των εικόνων, δηλαδή αρκετές εβδομάδες πριν τις τοπογραφικές εργασίες και τις σαρώσεις που αφορούσαν την παραγωγή ορθοφωτογραφίας.

Η πρώτη επαφή με το αντικείμενο έδωσε πλήρη εικόνα του.

- Όσον αφορά τον προγραμματισμό λήψεων και ειδικότερα τις θέσεις των λήψεων, καθώς η βόρεια γαλαρία έχει 4 εξώστες ενώ η νότια από την οποία θα γινόταν η φωτογράφιση έχει 3, η σειρά των λήψεων δεν έγινε σε όλο το μήκος της στο ίδιο ύψος.

Σχετικά με τις συνθήκες και τις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντα χώρου, αξίζει να σημειωθεί ότι οι

παθολογίες της εκκλησίας επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό και τον προγραμματισμό και την εκτέλεση των εργασιών.

- Στην εκκλησία επικρατούσε εξαιρετικό κρύο που δυσχέραινε την εργασία.
- Το πάτωμα της νότιας γαλαρίας ήταν εξαιρετικά σαθρό σε βαθμό να υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την κυκλοφορία σε αυτό με εξαιρετική προσοχή και χωρίς βίαιες κινήσεις και μόνο σε σημεία που τουλάχιστον οπτικά φαίνονταν ασφαλή. Η προσοχή αυτή δεν αφορούσε μόνο την κίνηση και τον βηματισμό του συνεργείου αλλά και τη μετακίνηση και την τοποθέτηση εξοπλισμού, από τον τρίποδα και τη φωτογραφική μηχανή που δεν ήταν ιδιαίτερα βαριά μέχρι το laser scanner που είναι εξαιρετικά βαρύ όργανο. Συνεπώς είχε προβλεφθεί ότι οι λήψεις, οι τοπογραφικές μετρήσεις των στόχων και οι σαρώσεις που έπρεπε να γίνουν από τον εξώστη της νότιας γαλαρίας θα χρειάζονταν αρκετό χρόνο.
- Η πρόσβαση αυτή καθ' αυτή στον εξώστη ήταν εξαιρετικά δύσκολη λόγω της σαθρής σκάλας που οδηγούσε σε αυτόν και η οποία επιπλέον ήταν πολύ βρώμικη. Οι φοιτητές της ομάδας είχαν καθαρίσει εβδομάδες πριν τα στρώματα από περιπτώματα περιστεριών και έτσι η διέλευση της σκάλας ήταν δύσκολη μεν (ειδικά για την μεταφορά του εξοπλισμού) αλλά εφικτή.
- Ένα ακόμα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου αντικειμένου είναι ότι πρόκειται για εσωτερικό μέρος εκκλησίας σε λειτουργία. Συνεπώς, οι επόμενες επισκέψεις έπρεπε να είναι αυστηρά προγραμματισμένες.
- Θα ήταν επίσης χρήσιμο να αναφερθεί ότι ο ίδιος ο χώρος υπέβαλλε έναν ρυθμό και μία συμπεριφορά του συνεργείου λόγω του θρησκευτικού χαρακτήρα του. Συνεπώς, το συνεργείο κινούνταν στον χώρο με τον απαιτούμενο σεβασμό και με εύλογο τρόπο (ησυχία, όχι μόνιμες επεμβάσεις στο χώρο με μόνιμα γεωδαιτικά σημάδια) και με σεβασμό στη σημασία και χρήση του χώρου. Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι πολύ ουσιώδης όταν πρόκειται για αποτύπωση θρησκευτικού χώρου σε χρήση και όχι μόνο.
- Τέλος, καθώς η πρόσβαση στον χώρο ήταν δυνατή μόνο με την παρουσία κάποιου από τα μέλη της υπόλοιπης ομάδας που είχε κλειδιά της εκκλησίας, οι διαθέσιμες μέρες ήταν λίγες και αυτό δημιούργησε πολλές δυσκολίες αλλά επίσης κατέστησε τη συγκεκριμένη εργασία ακριβώς λόγω αυτών των δυσκολιών, πολύ εκπαιδευτική.

Κατά την αναγνώριση έγινε λήψη φωτογραφιών που περιέγραφαν σε μεγάλο βαθμό τις αντικειμενικές συνθήκες.

5.4.2 Προγραμματισμός λήψεων – Λήψη εικόνων

Για την παραγωγή της ορθοφωτογραφίας, έγινε λήψη εικόνων από το μπαλκόνι της νότιας γαλαρίας (Εικόνα 5.11) προς τη βόρεια, εκτός από τις δύο πρώτες εικόνες που η λήψη τους έγινε από το χαμηλότερο επίπεδο της εκκλησίας καθώς στο σημείο αυτό απέναντι από τη βόρεια γαλαρία δεν υπήρχε αντίστοιχο μέρος της νότιας. Λήφθηκαν συνολικά φωτογραφίες της όψης της γαλαρίας από 11 θέσεις.

Τα χαρακτηριστικά των λήψεων ήταν τα ακόλουθα:

- σταθερά μηχανής 24mm
- φυσικό μέγεθος ψηφιακής εικόνας 36*24cm
- επικάλυψη 70%
- βάση λήψης 2m
- μέση απόσταση από αντικείμενο 15m
- κλίμακα εικόνας περίπου 1/600
- μέγεθος εικονοψηφίδας 5 mm (για συντελεστή κλίμακας 50)



Εικόνα 5.11: Άποψη της νότιας γαλαρίας του ναού από την οποία έγινε η λήψη των εικόνων

Σε κάθε θέση, έγινε λήψη με σκοπό την παραγωγή τελικής εικόνας HDR. Συνεπώς σε κάθε λήψη αντιστοιχούν 5 φωτογραφίες. Συνολικά έγιναν 17 5απλές λήψεις (85 φωτογραφίες) και παρήχθησαν 17 εικόνες HDR σε μορφή .tiff. Ο συνολικός όγκος αυτής της σειράς των λήψεων ήταν 1,60GB.

Η επιλογή των τελικών εικόνων έγινε με συμψηφισμό κριτηρίων ραδιομετρίας αλλά και γεωμετρίας. Με βάση τη ραδιομετρία, επιλέχθηκαν εκείνες που -κατά το δυνατόν- ήταν πιο καλά εστιασμένες και ευκρινείς. Με βάση τη γεωμετρία, επιλέχθηκαν εκείνες που το κέντρο τους ανήκει στον κατακόρυφο άξονα του format της εικόνας προκειμένου να μη χαθεί η επικάλυψη, ώστε σημεία της γαλαρίας να φαίνονται σε όσο το δυνατόν περισσότερες ορθοφωτογραφίες για την τελική παραγωγή του ορθοφωτομωσαϊκού.

Η λήψη έγινε με τη μηχανή CANON EOS – 1Ds Mark III.

Μέγεθος αισθητήρα :36 x 24 mm
ευαισθησία ISO :100 - 1600 in 1/3 stops, plus 50, 3200
Video : όχι
μικρότερη ταχύτητα κλείστρου:30 sec + Bulb
μεγαλύτερη ταχύτητα κλείστρου :1/8000 sec
Lcd screen :3.0
USB : ναι
τύποι αποθήκευσης :Compact Flash (Type I or II), SD card
βάρος:1385 g
διαστάσεις: 150 X 160 X 80 mm



Εικόνα 5.12: Η CANON EOS – 1 Mark III
(canon.com)

5.4.3 Το νέφος σημείων

5.4.3.1 Τοπογραφικές μετρήσεις

Πριν πραγματοποιηθούν οι τοπογραφικές εργασίες, αποφασίστηκε ότι η συνένωση των παραγόμενων από κάθε σάρωση νεφών θα γίνει με τον έμμεσο τρόπο (indirect technique) και με τη μέθοδο συνένωσης στόχων (target – to target registration). Συνεπώς ο σαρωτής τοποθετήθηκε σε αυθαίρετες θέσεις, σε κάθε μία από την οποία έγινε σάρωση η οποία περιελάμβανε τουλάχιστον 3 στόχους.

Για τη συνένωση των νεφών σημείων που προέκυψαν από κάθε σάρωση είναι απαραίτητη η γνώση των συντεταγμένων X,Y,Z των στόχων σε ένα αυθαίρετο αλλά ενιαίο σύστημα συντεταγμένων που θα χρησιμοποιηθεί για όλες τις συνενώσεις των νεφών.

Εξοπλισμός

Για τις τοπογραφικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TOPCON GPT-3003LN ο οποίος ανήκει στο εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ. Ο συγκεκριμένος γεωδαιτικός σταθμός έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά (topcon.co.jp):

- ακρίβεια μέτρησης γωνιών: 10cc
- ελάχιστη ανάγνωση: 0.6cc
- ακρίβεια μέτρησης απόστασης: $\pm 3\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
- εμβέλεια μέτρησης με πρίσμα: 3000m
χωρίς πρίσμα: 250m
- χρόνος μέτρησης γωνιών: <0,3 sec
- χρόνος μέτρησης απόστασης: 0,5 – 2,5sec

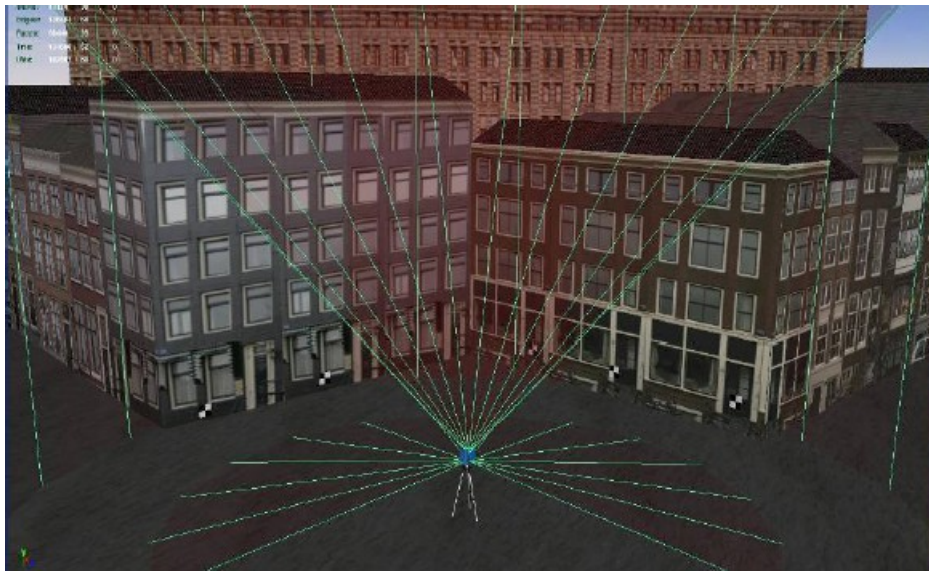


Εικόνα 5.13: Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός
σταθμός Topcon GPT-3003LN
(topcon.co.jp)

Τοποθέτηση των στόχων

Καθώς πρόκειται για ένα αντικείμενο με αρκετά προσβάσιμα σημεία, χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί τεχνητοί στόχοι υψηλής ανακλαστικότητας (Leica HDS targets) για τους οποίους έχει στην πράξη αποδειχθεί ότι έχουν καλύτερα αποτελέσματα στην συνένωση νεφών. Οι τεχνητοί στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι κύκλοι τοποθετημένοι σε βάσεις με δυνατότητα περιστροφής και είναι φτιαγμένοι από υλικό υψηλής ανακλαστικότητας.

Προκειμένου η συνένωση να γίνει με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, είναι πολύ σημαντικό η τοποθέτηση των στόχων να γίνεται σε “έξυπνες” θέσεις. Δηλαδή να τοποθετούνται όσο πιο περιγραφικά γίνεται στο αντικείμενο και όχι μόνο κατά τις διευθύνσεις x και y αλλά και z. (3D Risk Mapping- Theory and Practice on Terrestrial Laser scanning, University of Valencia, 2008)



(α)



(β)

Εικόνα 5.14: (α) Λάθος τοποθέτηση στόχων (β) Σωστή τοποθέτηση στόχων
(3D Risk Mapping- Theory and Practice on Terrestrial Laser scanning, University of Valencia, 2008)

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

Τελικά, οι στόχοι τοποθετήθηκαν στις θέσεις που φαίνονται στην εικόνα 5.16. Οι στόχοι 1 και 2 στο επίπεδο του εδάφους και οι στόχοι 3,4 και 5 στο μπαλκόνι της γαλαρίας.



Εικόνα 5.15: Οι τεχνητοί στόχοι τοποθετημένοι στη γαλαρία



*Εικόνα 5.16: Στόχος
(3D Risk Mapping- Theory and Practice on Terrestrial Laser scanning, University of Valencia, 2008)*

Μετρήσεις και αποτελέσματα

Για τη μέτρηση των στόχων, ιδρύθηκαν 2 στάσεις. Στο επίπεδο του πατώματος της εκκλησίας επισημάνθηκε με ασπρόμαυρο χαρτί που επικολλήθηκε στο πάτωμα μία στάση Σ1 στην οποία δόθηκαν αυθαίρετες συντεταγμένες (100m, 100m, 0m) και από την οποία ήταν ορατοί όλοι οι στόχοι. Έπειτα επιλέχθηκε στο ίδιο επίπεδο μία στάση Σ2, από την οποία επίσης ήταν εμφανείς όλοι οι στόχοι, με τετημένη $X=100m$, δηλαδή δόθηκε στην πλευρά Σ1-Σ2 αυθαίρετος προσανατολισμός $\alpha L1L2=200g$. Επόμενο βήμα ήταν η εύρεση της απόστασης (Σ1-Σ2). Για την απόσταση αυτή μετρήθηκε η απόσταση από τη Σ1 προς τη Σ2 7 φορές και από τη Σ2 προς τη Σ1 14 φορές. Η τελική απόσταση υπολογίστηκε με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και προέκυψε $\sigma_s=\pm 4mm$. Στη συνέχεια με τη μέθοδο της ταχυμετρίας μετρήθηκαν οι στόχοι από κάθε στάση, όμως για κάθε στόχο από κάθε στάση έγιναν 2-3 μετρήσεις για αύξηση της ακρίβειας. Οι τελικές συντεταγμένες των δύο στάσεων και των στόχων φαίνονται στον Πίνακα 5.1 προέκυψε για όλους στόχους σφάλμα προσδιορισμού θέσης $\pm 3mm$.

ΣΤΟΧΟΙ	X	Y	Z
1	108,506	101,214	0,680
2	107,607	86,924	0,200
3	109,884	95,475	6,107
4	108,921	89,670	6,076
5	107,861	83,239	6,065
Στάση Σ1	100,000	100,000	0,000
Στάση Σ2	100,000	89,489	0,008

Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες στόχων laser και στάσεων

5.4.3.2 Σαρώσεις

Ο σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία ήταν ο σαρωτής παλμού Scan Station 2 της εταιρείας Leica.



Εικόνα 5.17 : Ο Scan Station 2 (ptd.leica-geosystems.com)

Range measurement principle	Pulse – time of flight
Laser Colour	Green
Laser Class	Class 3R (IEC 60825-1)
Range	300m @ 90% Reflection
Field of view	270° vertical (overhead) 360° horizontal
Reference target definition	Geometrical (sphere or flat)
Standard deviation	--
Accuracy of single point measurement (one Sigma)	Position=6mm @50m Range= 4mm @50m
Minimum point spacing / resolution	< 1 mm
Diameter of Laser point / Beam divergence	4mm@50m (FWHH-based) 6m@50m (Gaussian-based)
Maximum Scan rate	50.000 Pt/s
LCD Camera	Integrated
Vertical axis declinable	no
Scanner Software	Cyclone 5.5

Εικόνα 5.18: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Scan Station 2

Έγιναν 4 σαρώσεις και δημιουργήθηκαν ισάριθμα αρχεία σαρώσεων (scanworlds), 2 από το πάτωμα και 2 από τον εξώστη της νότιας γαλαρίας.

5.4.3.3. Επεξεργασία δεδομένων και τελικό παράγωγο σαρώσεων

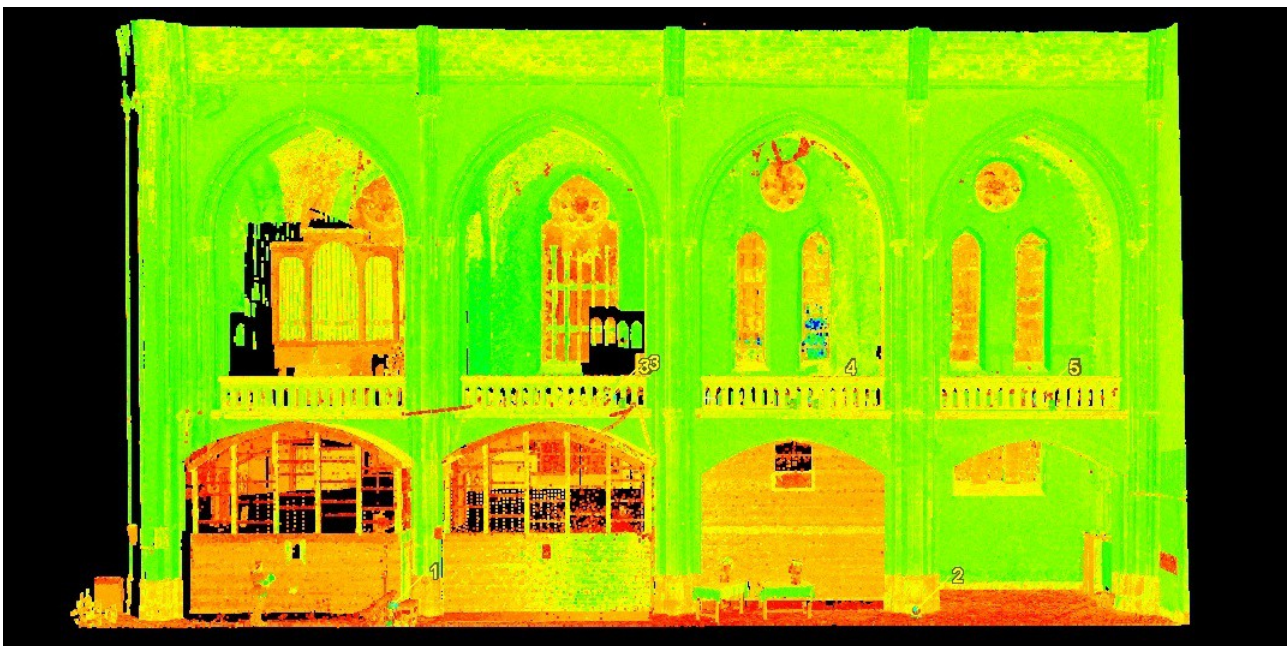
Η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις σαρώσεις, έγινε στο λογισμικό Cyclone της εταιρείας Leica Geosystems και το αρχείο που δημιουργήθηκε είναι τύπου τύπου .imr.

Αφού εισήχθη για επεξεργασία, δημιουργήθηκε ένα registration project το οποίο περιείχε τις 4 ξεχωριστές σαρώσεις (scanworlds) και το αρχείο κειμένου με τις συντεταγμένες των στόχων το οποίο αποτέλεσε ξεχωριστό scanworld και επιλέχθηκε ως βασική σάρωση (home scanworld) προκειμένου με βάση αυτό να γίνει αυτόματα η συνένωση στόχων (target to target registration).

Έπειτα έγινε η αυτόματη αναγνώριση των στόχων και η σύνδεσή τους με τις συντεταγμένες του αρχείου .txt. Με το πέρας του αυτόματου target to target registration, εμφανίστηκαν τα σφάλματα στην θέση των στόχων. Μετά την αφαίρεση του στόχου 3 (καθώς λόγω κακής σάρωσής του δημιουργούσε μεγάλα σφάλματα) από όλα τα scanworlds και μερικών άλλων στόχων από ορισμένα scanworlds, το registration επαναλήφθηκε. Τελικώς τα αποτελέσματα έγιναν δεκτά με προκύπτον μέσο σφάλμα 1,2cm.

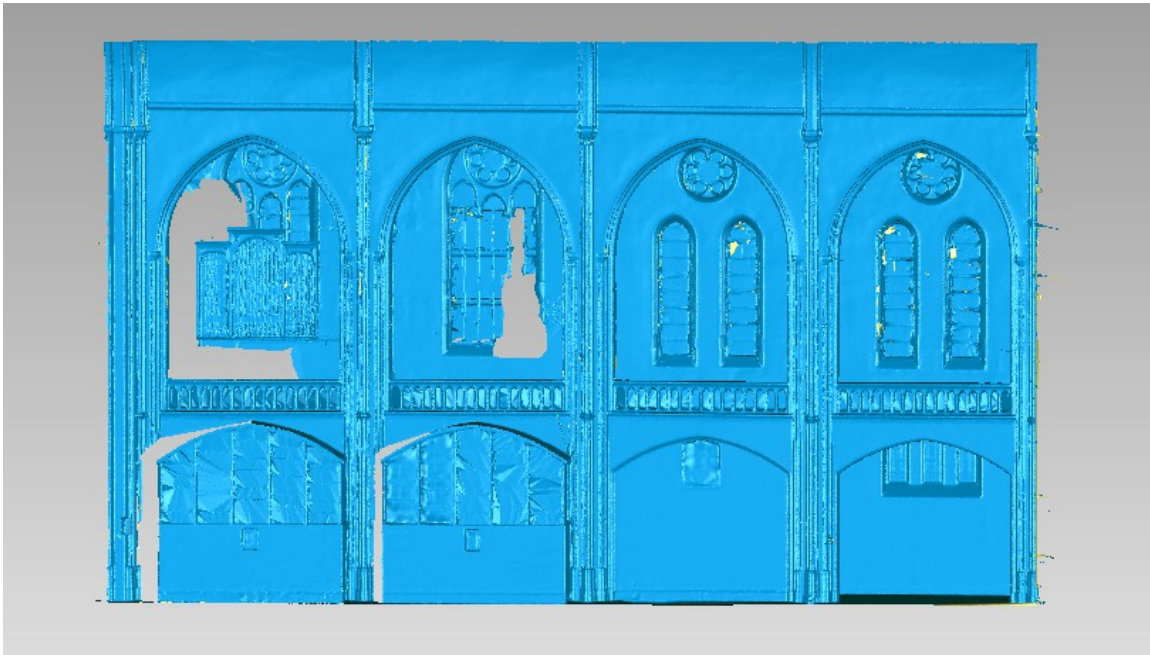
Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι το σφάλμα 1,2cm για τη μέθοδο συνένωσης στόχων (target to target registration) θεωρείται αρκετά σημαντικό, όμως έγινε αποδεκτό με βάση το γεγονός ότι η εργασία (δηλαδή η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας) δεν είχε από την ομάδα του project μεγάλες απαιτήσεις ακρίβειας. Σε δοκιμές που έγιναν πολύ αργότερα, το σφάλμα έφτασε στα 4mm που θεωρείται λογικό και αποδεκτό και για εργασίες ακριβείας. Όμως δεν χρησιμοποιήθηκε το καινούργιο, ακριβέστερο νέφος καθώς είχαν ήδη δημιουργηθεί και οι δύο ορθοφωτογραφίες.

Τελικά, δημιουργήθηκε ένα τελικό, ολοκληρωμένο νέφος σημείων (point cloud) από όλα τα ξεχωριστά νέφη και το τελικό παράγωγο (με μία πρώτη αφαίρεση σημείων που δεν αφορούσαν την εργασία) είναι το παρακάτω:



Εικόνα 5.20: Τελικό νέφος σημείων

Το τελικό νέφος είχε αρχικά 74 εκατομμύρια σημεία, δηλαδή παρήχθη ένα εξαιρετικά μεγάλο αρχείο το οποίο δεν θα ήταν δυνατό με τη διαθέσιμη υπολογιστική μνήμη να υποστεί επεξεργασία περαιτέρω σε άλλα λογισμικά. Έτσι, μειώθηκε στα 24 εκατομμύρια σημεία, ορίζοντας ως απόσταση των σημείων το 1,5cm. Στη συνέχεια εισήχθη στο λογισμικό Geomagic Studio της εταιρείας Geomagic και αφού αφαιρέθηκαν, όσο ήταν δυνατό, περιττά σημεία και θόρυβος, δημιουργήθηκε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model – DTM) με τη μορφή Δικτύου Ακανόνιστων Τριγώνων (Triangulated Irregular Network - TIN) το οποίο και αυτό με τη σειρά του υπέστη κάποιες επεξεργασίες όπως αφαίρεση τριγώνων, εξομάλυνση επιφανειών και γέμισμα κενών. Το τελικό μοντέλο έχει ορισμένα κενά τα οποία δεν ήταν δυνατό με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα να συμπληρωθούν καθώς οι συγκεκριμένες περιοχές δεν σαρώθηκαν. Επιπλέον έχει και μικρό ανάγλυφο λόγω της μικρής πυκνότητάς του.



Εικόνα 5.21: Τελικό DTM

5.4.4 Δημιουργία Εικόνων HDR

Όπως ήδη αναφέρθηκε, από κάθε θέση λήψης έγιναν 5 λήψεις HDR με EV -3, -1.5, 0, 1.5, 3. Ως κανονική επιλέχθηκε η μεσαία (όπως έγινε και στον γεωμετρικό έλεγχο) και από τις 5 παρήχθη μία HDR με το ελεύθερο λογισμικό Luminance HDR 2.3.0 – beta 1.

Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDRI) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς



(α)

(β)

(γ)



(δ)



(ε)

Εικόνες 5.22: Πολλαπλές λήψεις διαφορετικών εκθέσεων (α) -3EV, (β) -1.5 EV, (γ) 0 EV (δ) 1.5 EV (ε) 3 EV

Στις παραπάνω λήψεις είναι εμφανείς οι δύσκολες φωτιστικές συνθήκες καθώς η μόνη πηγή φωτός είναι το εξωτερικό φως που έρχεται από τα παράθυρα των γαλαριών και το δυναμικό εύρος της σκηνής είναι μεγάλο.



Εικόνα 5.23: Εικόνα HDR προερχόμενη από τις Εικόνες 5.21

Όπως πολύ εύκολα μπορεί να δει κανείς, η HDR εικόνα είναι ποιοτικά πολύ καλύτερη από κάθε μία από τις προηγούμενες γιατί όλες οι περιοχές της έχουν καλή, ισορροπημένη έκθεση και δεν χάνονται λεπτομέρειες ούτε σε φωτεινές ούτε σε σκοτεινές περιοχές. Πιο αναλυτικά η σύγκριση γίνεται στο Κεφάλαιο 5.4.6.

5.4.5 Δημιουργία Ορθοφωτογραφιών

Για συντομία, οι εικόνες έκθεσης 0 EV αναφέρονται ως κανονικές, αλλά πρόκειται για καταχρηστικό όρο αφού δεν υφίσταται “κανονική” ή “μη κανονική” έκθεση.

Για κάθε λωρίδα (μία με τις κανονικές εικόνες και μία με τις εικόνες HDR) δημιουργήθηκε μία τελική ορθοφωτογραφία. Οι επί μέρους ορθοφωτογραφίες παρήχθησαν με χρήση του λογισμικού Image Master της εταιρίας Topcon. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η όδευση που ιδρύθηκε για τη μέτρηση των φωτостаθερών και των στόχων των σαρώσεων χάθηκε πριν από τις απαιτούμενες μετρήσεις και δεν υπήρχε χρονικό περιθώριο για επανίδρυση της όδευσης. Έτσι, επιλέχθηκε τα αναγκαία φωτостаθερά για τον απόλυτο προσανατολισμό των εικόνων να μετρηθούν επί του μοντέλου στο λογισμικό Geomagis.

Η ακρίβεια των ορθοφωτογραφιών δεν μπορεί να υπολογιστεί καθώς τα σφάλματα που υπεισέρχονται σε όλη τη διαδικασία παραγωγής τους δεν είναι δυνατό να εκτιμηθούν. Αρχικά, για τη συνένωση των νεφών εξήχθη ένα μέσο σφάλμα το οποίο όμως αφορά την ακρίβεια της συνένωσης του νέφους και όχι την ακρίβεια των συντεταγμένων των σημείων, η οποία είναι άγνωστη και επιβαρύνεται περισσότερο με τη μείωση της απόστασης των σημείων στα 1,5cm. Στη συνέχεια τα φωτοσταθερά μετρήθηκαν επί του τελικού DTM προσθέτοντας άγνωστη αβεβαιότητα. Η αβεβαιότητα αυτή οφείλεται στη δυσκολία σκόπευσης ακριβώς των σημείων λεπτομερειών, λόγω της χαμηλής πυκνότητας του DTM. Κατά συνέπεια, εξίσου αβέβαιες είναι και οι σκοπεύσεις των ίδιων σημείων στις εικόνες καθώς είναι εξαιρετικά δύσκολο να αναγνωριστούν απόλυτα. Συνεπώς, η ακρίβεια των ορθοφωτογραφιών μπορεί να εκτιμηθεί ως ένα σημείο μετά την παραγωγή τους, με μέτρηση επί των ορθοφωτογραφιών γνωστών αποστάσεων ενώ αναμένονται και γεωμετρικά σφάλματα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα πλεονεκτήματα των εικόνων HDR, διευκόλυναν εξαιρετικά τη διαδικασία κατά το στάδιο του αεροτριγωνισμού καθώς οι σκοπεύσεις όχι μόνο ήταν ευκολότερες στις εικόνες HDR αλλά ήταν και δυνατό σε όλες να σκοπευτούν σημεία σε περιοχές Gruber κάτι που δεν ήταν εφικτό σε ορισμένες από τις κανονικές εικόνες.

5.4.6 Αξιολόγηση και σύγκριση τελικών ορθοφωτογραφιών

Κοινά ποιοτικά και γεωμετρικά προβλήματα

Τα κοινά ποιοτικά και γεωμετρικά προβλήματα και των δύο ορθοφωτογραφιών οφείλονται κυρίως στο DTM και στην αβεβαιότητα της διαδικασίας, όπως αναλύθηκε παραπάνω.

Βασικό πρόβλημα των εικόνων είναι οι λευκές περιοχές οι οποίες όμως ήταν αναμενόμενες καθώς η κάλυψη των περιοχών αυτών από το DTM ήταν ελλιπής. Από την άλλη, σε ορισμένες περιοχές εντοπίζονται θολώματα λόγω του υπερβολικού ανάγλυφου στις περιοχές αυτές και της έντονης προοπτικής τους παραμόρφωσης που αναγκάζει την περιορισμένη πληροφορία χρώματος να απλωθεί δημιουργώντας θόλωμα. Ένα ακόμα πρόβλημα που έχει εμφανιστεί και στις δύο εικόνες είναι η διπλή εμφάνιση μέρους του τοίχου κάτω δεξιά στο κλίτος. Αυτό συνέβη λόγω της έλλειψης πληροφορίας για το επίπεδο του πίσω τοίχου. Κατά την παραγωγή της ορθοφωτογραφίας, για το συγκεκριμένο σημείο θα έπρεπε να υπάρχει πληροφορία, όμως λόγω της γωνίας λήψης δεν υπάρχει τέτοια πληροφορία η οποία τελικά καλύφθηκε από το διπλό είδωλο.

Λόγω της γωνίας λήψης αλλά και των σφαλμάτων του προσανατολισμού, δεν επετεύχθη απολύτως η ορθή προβολή του πρώτου αριστερού μέρους του ξύλινου παρεκκλησίου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 5.4.2, η λήψη του πρώτου στερεοζεύγους έγινε από το πάτωμα του ναού και αυτό είχε ως αποτέλεσμα σημαντικό χάσιμο πληροφορίας που δεν ήταν δυνατό να καλυφθεί από το επόμενο στερεοζεύγος. Σε συνδυασμό με τα σφάλματα του προσανατολισμού, οδήγησε σε μεγάλη επιφάνεια λάθους πληροφορίας και μη ορθή προβολή του ξύλινου παρεκκλησίου στο σημείο αυτό. Ένα ακόμα πρόβλημα των ορθοφωτογραφιών είναι η εμφάνιση του δαπέδου του εξώστη το οποίο κανονικά δεν θα έπρεπε να εμφανίζεται καθώς πρόκειται για ορθή προβολή. Όμως, ήταν αναμενόμενη η εμφάνιση του δαπέδου καθώς δεν υπήρχε πληροφορία στο DTM και τελικά η πληροφορία χρώματος του δαπέδου αποδόθηκε στο επίπεδο του τοίχου.

Όλες οι μεγάλες περιοχές σημαντικών ποιοτικών και γεωμετρικών προβλημάτων έχουν καλυφθεί με γραμμοσκίαση.



Εικόνα 5.24: Ορθοφωτογραφία με εικόνες έκθεσης 0 EV



Εικόνα 5.25: Ορθοφωτογραφία με εικόνες HDR

Ποιοτική και γεωμετρική σύγκριση των δύο ορθοφωτογραφιών

Οι φωτιστικές συνθήκες που επικρατούσαν στον ναό κατά τη διάρκεια των λήψεων ήταν ιδανικές προκειμένου να συγκριθούν οι εικόνες HDR με κανονικές εικόνες. Μοναδική πηγή φωτός ήταν το εξωτερικό φως που έμπαινε από τα παράθυρα του ναού και για κάθε σημείο λήψης ήταν υπό διαφορετική γωνία. Ειδικά για το πρώτο στερεοζεύγος το οποίο λήφθηκε από το πάτωμα και όχι από την απέναντι γαλαρία όπως έγινε για τις υπόλοιπες εικόνες της λωρίδας. Επιπλέον, από την πρώτη μέχρι και την τελευταία λήψη το φως μειωνόταν γρήγορα καθώς ήταν αργά το μεσημέρι και γιατί λόγω του πολύ σαθρού πατώματος στην απέναντι γαλαρία οι κινήσεις του συνεργείου ήταν αργές και προσεχτικές για λόγους ασφαλείας. Με άλλα λόγια, για κάθε σημείο λήψης οι φωτιστικές συνθήκες ήταν διαφορετικές. Ακόμα, το αντικείμενο έχει φωτισμένα τμήματα με παράθυρα (όπως στον εξώστη) αλλά και πολύ σκοτεινά τμήματα όπως το τμήμα του κλίτους κάτω δεξιά στο οποίο δεν υπάρχει το ξύλινο παρεκκλήσι. Συνεπώς, με βάση τις δυνατότητες της φωτογραφικής μηχανής (όπως έχουν αναλυθεί διεξοδικά σε προηγούμενα κεφάλαια), των φωτιστικών συνθηκών που επικρατούσαν και του ίδιου του αντικειμένου, ήταν αδύνατο οι κανονικές εικόνες να περιείχαν ικανό δυναμικό εύρος τέτοιο που να μην περιέχουν πολύ φωτεινές και κυρίως πολύ σκοτεινές περιοχές με αναπόφευκτο χάσιμο πληροφορίας.

Όσον αφορά τη διαδικασία παραγωγής των τελικών ορθοφωτογραφιών και προκειμένου να γίνει η σύγκρισή τους, έπρεπε να έχουν και οι δύο δημιουργηθεί από τα ίδια μέρη των επί μέρους εικόνων. Έτσι, αρχικά δημιουργήθηκε η ορθοφωτογραφία με κανονικές εικόνες η οποία προέκυψε από συνένωση των επί μέρους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όσον αφορά τη ραδιομετρία και τη γεωμετρική πληροφορία. Στη συνέχεια παρήχθη η ορθοφωτογραφία με εικόνες HDR ακριβώς με τον ίδιο τρόπο σύνθεσης όπως η πρώτη. Φυσικά, ούτε οι αρχικές αλλά ούτε οι τελικές εικόνες υπέστησαν κάποιου είδους ραδιομετρική επεξεργασία και διόρθωση, προκειμένου να γίνει η σύγκριση της ραδιομετρίας τους.

Όπως μπορεί να διαπιστώσει κανείς με μία πρώτη ματιά, στην ορθοφωτογραφία HDR οι απαιτήσεις για ραδιομετρική διόρθωση για τη συνένωση των επί μέρους ορθοφωτογραφιών είναι πάρα πολύ μικρές και αφορούν κυρίως ένα μικρό μέρος γύρω από το πρώτο τμήμα του ξύλινου παρεκκλησίου. Αντίθετα, οι διαφορές στην κανονική ορθοφωτογραφία είναι πολύ σημαντικές και εμφανείς και είναι πολύ εύκολο να ξεχωρίσει κανείς τα επί μέρους τμήματα, παρ' όλο που αποτελείται από τα ακριβώς ίδια μέρη εικόνων όπως και η ορθοφωτογραφία HDR.

Η ομοιομορφία αυτή οφείλεται στο βασικό πλεονέκτημα των εικόνων HDR να περιέχουν όλο το δυναμικό εύρος μίας σκηνής. Η πληροφορία όλου του δυναμικού εύρους καταγράφηκε στις πολλαπλές λήψεις και τελικά αποδόθηκε σε μία, την εικόνα HDR. Καθώς κάθε εικόνα HDR παρήχθη με τις ίδιες παραμέτρους από το εξειδικευμένο λογισμικό HDR, από κάθε σημείο λήψης καταγράφηκε όλο το δυναμικό εύρος της ευρύτερης σκηνής με αποτέλεσμα εικόνες φωτιστικά ομοιόμορφες μεταξύ τους και χωρίς σκιές που να τις διαφοροποιούν.

Το εξαιρετικά χρήσιμο αυτό πλεονέκτημα εξοικονομεί πολύ χρόνο και κόπο από τη διαδικασία της ραδιομετρικής επεξεργασίας στην οποία υπόκειται κάθε φωτομωσαϊκό και αποτελεί ένα ακόμα θετικό στοιχείο στη χρήση εικόνων HDR στη φωτογραμμετρία.

Όσον αφορά την πληροφορία αυτή καθαυτή που φέρουν οι ορθοφωτογραφίες, η ορθοφωτογραφία HDR πλεονεκτεί σε πολλά σημεία έναντι της κανονικής. Αρχικά, όλες της οι περιοχές είναι φωτισμένες επαρκώς και άρα με περισσότερες λεπτομέρειες. Συνεπώς εξυπηρετείται πολύ καλύτερα ο σκοπός της εργασίας, δηλαδή η παραγωγή ορθοφωτογραφίας για μελέτη αποκατάστασης, καθώς φαίνονται πολύ καθαρά και αναδεικνύονται σε όλο το αντικείμενο παθολογίες όπως η υγρασία στους τοίχους και στα παράθυρα, ραγίσματα στα παράθυρα και αποκολλήσεις υλικών. Η ίδια πληροφορία εμφανίζεται τόσο στα τμήματα του εξώστη που τα παράθυρα είναι καλυμμένα όσο και στα τμήματα με τα παράθυρα. Αντίθετα, η κανονική ορθοφωτογραφία έχει σημαντικό χάσιμο πληροφορίας σε πολλές περιοχές όπως οι εξώστες με τα καλυμμένα παράθυρα και το κάτω δεξιά τμήμα του κλίτους. Επιπλέον, στην ορθοφωτογραφία

HDR διακρίνονται πολύ καλύτερα ακμές και γραμμικά στοιχεία διευκολύνοντας τις μετρήσεις επί της εικόνας και αυξάνοντας την ακρίβειά τους.

Όσον αφορά τη γεωμετρική πληροφορία των δύο ορθοφωτογραφιών, η ακρίβειά τους δεν μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς, για τους λόγους που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 5.4.5. Ο γεωμετρικός τους έλεγχος έγινε με συγκρίσεις μηκών μετρημένων επί του DTM και έδωσε αποδεκτά αποτελέσματα αλλά εμπεριέχεται σε αυτές η προαναφερθείσα αβεβαιότητα.

Όμως, στις μετρήσεις των ίδιων μηκών επί των εικόνων, προέκυψαν αποκλίσεις μικρότερες των 5mm γεγονός που αποδεικνύει ακόμα μία φορά (πέραν της διαδικασίας της βαθμονόμησης που έχει προηγηθεί) τη γεωμετρική αξιοπιστία των εικόνων HDR που τις καθιστούν κατάλληλες για χρήση τους σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές, αφού δεν είχαν γεωμετρικές διαφορές από τις κανονικές.

Με βάση τα αποτελέσματα της παραπάνω εφαρμογής, γίνεται προφανής η πλεονεκτική χρήση εικόνων HDR σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές και τα μεγάλα πλεονεκτήματα που έχουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Η τεχνολογία των Απεικονίσεων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) είναι σχετικά καινούργια και μόλις τα τελευταία χρόνια έχει κερδίσει το ενδιαφέρον διεθνώς, όμως η αναζήτηση του κατάλληλου φωτισμού είναι παλιά, σχεδόν όσο και η ίδια η φωτογραφία, όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω. Λαμβάνοντας υπ' όψη όλα όσα αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, μπορεί κανείς να καταλήξει σε μερικά χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τις εικόνες HDR και τη χρήση τους στη Φωτογραμμετρία αλλά και γενικότερα.

Πέρα από το γεγονός ότι οι εικόνες HDR μπορούν όντως να λύσουν το πρόβλημα του δυναμικού εύρους στις περισσότερες εφαρμογές, με πλεονεκτήματα στην ποιότητα των εικόνων που έχουν αναλυθεί διεξοδικά στα προηγούμενα, οι εικόνες HDR έχουν πολλά ακόμα πλεονεκτήματα. Ειδικά στη Φωτογραμμετρία (και καθώς αποδείχθηκε η γεωμετρική τους αξιοπιστία), εκτός από την αύξηση του δυναμικού εύρους που συνεπάγεται περισσότερη πληροφορία, οι εικόνες HDR διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό συνολικά τη φωτογραμμετρική διαδικασία, λόγω μεγάλης αντίθεσης και περισσότερης πληροφορίας. Επιπλέον, όπως προέκυψε από την παρούσα εργασία, είναι δυνατό με τη χρήση εικόνων HDR να μειωθεί κατά πολύ η ραδιομετρική διόρθωση στην οποία υπόκεινται τα περισσότερα ορθοφωτομωσαϊκά, πλεονέκτημα εξαιρετικά σημαντικό.

Ένα ακόμα θετικό των εικόνων HDR είναι ότι δεν αποκλείουν τις συμβατικές μεθόδους φωτογράφισης καθώς οι λήψεις HDR περιλαμβάνουν και λήψη με έκθεση 0EV. Έτσι, υπάρχει πάντα η επιλογή απόρριψης μίας HDR εικόνας όταν το αποτέλεσμα δεν είναι ικανοποιητικό και χρήση μίας συμβατικής LDR. Εξαιρετικά σημαντικό πλεονέκτημα είναι, επίσης, η μεγάλη ποικιλία λογισμικών δημιουργίας εικόνων HDR, πολλά από τα οποία είναι δωρεάν ή ανοιχτού κώδικα. Τα λογισμικά αυτά είναι πολύ φιλικά προς τον χρήστη και παρέχουν τη δυνατότητα πολλών τρόπων tonemapping αλλά και αλλαγής των παραμέτρων της εικόνας. Έτσι είναι δυνατή η δοκιμή πολλών λογισμικών και η τελική επιλογή από πολλά παράγωγα, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Βεβαίως, η παραγωγή εικόνων HDR είναι μία διαδικασία που απαιτεί κάποιο χρόνο. Όμως ο χρόνος αυτός είναι πολύ μικρότερος από εκείνον που απαιτείται για την ψηφιακή μεταεπεξεργασία εικόνων με μικρό δυναμικό εύρος και η οποία μεταεπεξεργασία δεν έχει πάντα τα απαιτούμενα αποτελέσματα.

Η απαίτηση σε εξοπλισμό των εικόνων HDR μπορεί κανείς να πει ότι είναι μικρή. Από τη μία σχεδόν όλες οι SLR μηχανές που χρησιμοποιούνται στις φωτογραμμετρικές λήψεις έχουν λειτουργίες για αυτόματες, διαδοχικές λήψεις διαφορετικών εκθέσεων, ενώ από την άλλη ο τρίποδος χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα στις λήψεις αυτές. Ίσως το πιο σημαντικό αίτημα της μεθόδου σε επίπεδο εξοπλισμού είναι η μεγάλη αποθηκευτική μνήμη καθώς η ανάγκη για μνήμη πολλαπλασιάζεται για κάθε σκηνή προς λήψη. Όσον αφορά την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος σε επίπεδο ραδιομετρίας, τα φαινόμενα που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 3 (ghosting, halo) αν δεν μπορούν να εξαλειφθούν τελείως, βελτιώνονται στις περισσότερες περιπτώσεις σε σημαντικό βαθμό με τη βοήθεια πολλές φορές των ίδιων των λογισμικών HDR.

Θα ήταν σημαντικό να αναφερθεί ότι οι εικόνες HDR υπόκεινται στους περιορισμούς της εκτύπωσης (Κεφάλαιο 2.6) που σημαίνει πως μία εκτυπωμένη εικόνα HDR έχει μικρότερο δυναμικό εύρος από εκείνο που εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή με αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητάς της.

Εν κατακλείδι, συμπεραίνεται ότι η μέθοδος δημιουργίας εικόνων HDR είναι μία μέθοδος η οποία μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά πολύτιμη σε πολλές εφαρμογές. Τα πολύ καλά αποτελέσματα, η ευκολία λήψης των απαραίτητων εικόνων, ο όχι ιδιαίτερα ειδικός εξοπλισμός, τα πολλά, ορισμένα δωρεάν, διαθέσιμα και πολύ φιλικά προς το χρήστη λογισμικά, η χρήση τους σε πολλές εφαρμογές και η διαρκής τεχνολογική βελτίωση της μεθόδου, μπορεί να ειπωθεί ότι την καθιστούν μία εξαιρετικά χρήσιμη μέθοδο βελτίωσης της ψηφιακής καταγραφής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία στην Ελληνική Γλώσσα

Γεωργόπουλος Α., 1998, *Ψηφιακή Φωτογραμμετρία*, Αθήνα

Γεωργόπουλος Α., Χλιβερού Ρ., 2003, *Στοιχεία Φωτογραφικής Τεχνικής*, Αθήνα

Ιωαννίδης Χ., 2008, *Φωτογραμμετρία II*, Σημειώσεις ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Καρράς Γ., 1998, *Γραμμικοί Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων στην Φωτογραμμετρία*, Σημειώσεις ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010, *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Αθήνα

Μακρής Γ., 1999, *Σύγχρονες Αντιλήψεις και Πρακτικές Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης – Αποτύπωσης Κειμηλίων, Μνημείων και Συνόλων*, Αθήνα

Σαμαρά Α., 2004, *Διερεύνηση Βαθμονόμησης Ψηφιακής Μηχανής*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Hugh D. Young, 1994, *Φυσική Τόμος Β΄*, Αθήνα

Βιβλία στην Αγγλική Γλώσσα

Ansel A., 1981, *The negative*, New York

Assaad S., Santana Quintero M., Kreidi J., 2011, *Protecting BAALBEK'S Integrity*, UNESCO

Banterle F., Artusi A., Debattista K., Chalmers A., 2011, *Advanced High Dynamic Range Imaging*, Natick

Letellier R., 2007, *Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places*, Los Angeles

Nightingale D., 2012, *Practical HDR*, Lewes

Pratyush P., 2009, *High Dynamic Range Imaging*, National Institute of Technology Rourkela

Reinhard E., Ward G., Pattanaik S., Debevec P., Heidrich W., Myszkowski K., 2010, *High Dynamic Range Imaging - Acquisition, Display and Image Based Lighting*, Burlington

Vandesande A., Vanquaethoven A., Van Meirhaeghe D., Simou X., *IPW 3: Saint Francis Xavier Church*, 2010, Katholieke Universiteit Leuven

3D Risk Mapping – Theory And Practice on Terrestrial Laser Scanning in Five Languages, 2008, Universidad Politecnica de Valencia

Ενδεικτικοί Ιστότοποι

<http://www.anderlecht.be>

<http://www.anseladams.com>

<http://www.cambridgeincolour.com>

<http://www.canon.com>

<http://davewilsonphotography.com>

<http://www.dxomark.com>

<http://www.ephotozine.com>

<http://www.flickr.com>

<http://www.geosociety.org>

<https://gsa.confex.com>

<http://ict.usc.edu/>

<http://www.nightscaapes.net>

<http://www.nikon.com>

<http://www.ohanaware.com>

<http://www.openxr.com/>

<http://www.photo.gr>

<http://www.photocircle.gr>

<http://photographymuseum.com>

<http://www.sovietmontage.com>

<http://scien.stanford.edu>

<http://www.wikipedia.org>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΕΙΚΟΝΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΕΙΚΟΝΕΣ

Κεφάλαιο 2

Εικόνα 2.1: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Φυσική, τόμος Β', Hugh D. Young, 1994).....σελ.11	σελ.11
Εικόνα 2.2: Το εύρος φωτεινότητων στη φύση (cambridgeincolour.com).....σελ.12	σελ.12
Εικόνα 2.3: Ιστόγραμμα (cambridgeincolour.com).....σελ.14	σελ.14
Εικόνα 2.4: Εικόνα με μεγάλο δυναμικό εύρος και το ιστόγραμμά της (cambridgeincolour.com).....σελ.14	σελ.14
Εικόνα 2.5: Ακρίβεια A/D Converter-αντίθεση-δυναμικό εύρος (cambridgeincolour.com).....σελ.16	σελ.16
Εικόνα 2.6: Άποψη από το εσωτερικό του παλατιού Alhambra στη Γρανάδα της Ισπανίας (Καραβία Δέσποινα).....σελ.18	σελ.18
Εικόνα 2.7: Λήψη με οπίσθιο φως (backlight) και εμφάνιση σκοτεινής σιλουέτας (journographica.com).....σελ.19	σελ.19
Εικόνα 2.8: Υπερεκτεθειμένος ουρανός – υποεκτεθειμένο έδαφος (mikegrosshandler.com)....σελ.19	σελ.19
Εικόνα 2.9: Χαμηλή έκθεση: Εμφάνιση ουρανού και περιοχών κάτω από τον βράχο πολύ σκοτεινά (davewilsonphotography.com).....σελ.20	σελ.20
Εικόνα 2.10: Υψηλή έκθεση: Υπερέκθεση ουρανού και ικανοποιητική εμφάνιση περιοχών κάτω από τον βράχο (davewilsonphotography.com).....σελ.21	σελ.21
Εικόνα 2.11: Τα φίλτρα ουδέτερης πυκνότητας ντεγκραντέ (ND Grad) (photo.gr).....σελ.21	σελ.21
Εικόνα 2.12: Σκηνή με υψηλό δυναμικό εύρος χωρίς χρήση ND Grad (photo.gr).....σελ.22	σελ.22
Εικόνα 2.13: Η ίδια σκηνή με τη χρήση φίλτρου ND Grad (photo.gr).....σελ.23	σελ.23
Εικόνα 2.14: Επέμβαση στο ιστόγραμμα μίας σκοτεινής εικόνας (cambridgeincolour.com)....σελ.24	σελ.24
Εικόνα 2.15: Εικόνα HDR της σκηνής των εικόνων 2.9 και 2.10 (davewilsonphotography.com.).....σελ.25	σελ.25

Κεφάλαιο 3

Εικόνα 3.1: Gustave Le Gray, “The Great Wave” (1856-1859) (wikipedia.org).....σελ.26	σελ.26
Εικόνα 3.2: Henry Peach Robinson, “Figures in Landscape” (περ. 1880) (photographymuseum.com).....σελ.27	σελ.27
Εικόνα 3.3: Oscar Rejlander, “Two Ways of Life” (1857) (tumblr.com)σελ.27	σελ.27
Εικόνα 3.4: W. Eugene Smith, “Schweitzer at the Lamp” (1954) (wikipedia.org).....σελ.28	σελ.28
Εικόνα 3.5: Το εξώφυλλο του περιοδικού Life (19/04/1954) με τη φωτογραφία του Charles Wyckoff όπου φαίνεται η πρώτη έκρηξη βόμβας υδρογόνου (wikipedia.org).....σελ.29	σελ.29
Εικόνα 3.6: Ζώνες φωτεινότητας (luminous-landscape.com).....σελ.30	σελ.30
Εικόνα 3.7: Ansel Adams, “Canon de Chelly” (1941) (anseladams.com).....σελ.31	σελ.31
Εικόνα 3.8: Εικόνα HDR (talino.org).....σελ.32	σελ.32
Εικόνα 3.9: Εικόνα HDR (wooz.gr).....σελ.33	σελ.33
Εικόνα 3.10: Νυχτερινή εικόνα HDR της Ακρόπολης (Άγγελος Βενέτης).....σελ.34	σελ.34
Εικόνα 3.11: Εικόνα HDR της Ρώμης (flickr.com).....σελ.34	σελ.34
Εικόνα 3.12: “New but not new HDR” (Bernt Carlzon).....σελ.35	σελ.35
Εικόνα 3.13: Εικόνα HDR περιοχής του Βερολίνου (Martin Grädler).....σελ.36	σελ.36
Εικόνα 3.14: Εικόνα HDR (wikipedia.com).....σελ.37	σελ.37
Εικόνα 3.15: Ρύθμιση παραμέτρων του Auto Exposure Bracketing σε μηχανή Canon Mark III (canon.com).....σελ.38	σελ.38
Εικόνα 3.16: Ghosting effect λόγω κίνησης οχημάτων (paulstamatiou.com).....σελ.39	σελ.39
Εικόνα 3.17: Πολλαπλές λήψεις διαφορετικών εκθέσεων του ίδιου αντικειμένου (wikipedia.com).....σελ.40	σελ.40
Εικόνα 3.18: Η τελική tone mapped εικόνα δημιουργημένη με τοπικό τελεστή (local operator) του παραδείγματος της Εικόνας 3.17 (wikipedia.com).....σελ.42	σελ.42
Εικόνα 3.19: (α) Λήψεις διαφορετικών εκθέσεων β) Η τελική εικόνα HDR (easyhdr.com).....σελ.43	σελ.43
Εικόνα 3.20: (α) Λήψεις με 0EV (β) Τελικές εικόνες HDR (lwn.net).....σελ.44	σελ.44
Εικόνα 3.21: Εισάγωντας τις εικόνες.....σελ.45	σελ.45
Εικόνα 3.22: Παράθυρο διαλόγου Preprocessing Options.....σελ.46	σελ.46
Εικόνα 3.23: Επιφάνεια εργασίας.....σελ.47	σελ.47

Εικόνα 3.24: Tone mapping με Tone Compressor (global).....	σελ.48
Εικόνα 3.25: Tone mapping με Details Enhancer (local).....	σελ.48
Εικόνα 3.26: Tone mapping με Details Enhancer (local) και στυλ grunge.....	σελ.49
Εικόνα 3.27: Tone mapping με Details Enhancer (local) και στυλ B&W.....	σελ.49
Εικόνα 3.28: Εικόνα ψευδο-HDR (flickrriver.com).....	σελ.50
Εικόνα 3.29: Εικόνα HDR με έντονο halo (Directions, @DS) (flickr.com).....	σελ.52
Εικόνα 3.30: "Sunflowers & Old Wood" by Michael Bryan, Νικήτρια εικόνα 2011 της κατηγορίας HDR της κοινότητας της Nikon (Nikonians) (nikonians.org).....	σελ.53
Εικόνα 3.31: Καρέ από "Venice in HDR", Luke Brooks (vimeo.com).....	σελ.54
Εικόνα 3.32: (α) Τελικό καρέ ενός video HDR και (β) δύο ξεχωριστά καρέ, ένα από κάθε κάμερα (sovietmontage.com).....	σελ.55
Εικόνα 3.33: Image-based lighting και HDRI (pachromaticlight.wordpress.com).....	σελ.56
Εικόνα 3.34: Απεικόνιση ανθρώπινου πνεύμονα με διαφορετικό αλγόριθμο χαρτογράφησης φωτεινότητων (scien.stanford.edu).....	σελ.56
Εικόνα 3.35: Το νεφέλωμα του Ωρίων (α) λήψεις πολλαπλών εκθέσεων (β) εικόνα HDR (nightscapes.net).....	σελ.57

Κεφάλαιο 4

Εικόνα 4.1: Λήψη έκθεσης 0 EV της δυτικής εισόδου από το εσωτερικό του ναού του Ηφαίστου.....	σελ.60
Εικόνα 4.2: Εικόνα HDR της σκηνής της Εικόνας 4.1.....	σελ.61
Εικόνα 4.3: Λήψη έκθεσης 0 EV της ανατολικής εισόδου από το εσωτερικό του ναού του Ηφαίστου.....	σελ.62
Εικόνα 4.4: HDR εικόνα της σκηνής της Εικόνας 4.3	σελ.63
Εικόνα 4.5: Σκηνή εντός της Στοάς του Αττάλου (α) λήψη 0EV και (β) HDR εικόνα.....	σελ.64
Εικόνα 4.6: Το Πεδίο Ελέγχου με τα προσημασμένα σημεία επί των στύλων, στο Κέντρο Μετρολογίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ.....	σελ.66
Εικόνα 4.7: Κανονική εικόνα του πεδίου ελέγχου (α) και η αντίστοιχη HDR εικόνα (β)με χρήση του φακού των 24mm.....	σελ.67
Εικόνα 4.8: Η βορειο-δυτική ημικυκλική αίθουσα του Μεγάλου Δικαστηρίου την αρχαία ρωμαϊκή πόλη Baalbek στον Λίβανο (Protecting Baalbek's Integrity, KUL/UNESCO/Ministry of Culture -Lebanon).....	σελ.70
Εικόνα 4.9: Risk Mapping στη βορειο-δυτική ημικυκλική αίθουσα του Μεγάλου Δικαστηρίου στην αρχαία ρωμαϊκή πόλη Baalbek στον Λίβανο (Protecting Baalbek's Integrity, KUL/UNESCO/Ministry of Culture -Lebanon).....	σελ.71

Κεφάλαιο 5

Εικόνα 5.1: Ευρώπη – Βέλγιο – Βρυξέλλες (wikipedia.com).....	σελ.73
Εικόνα 5.2: Η περίφημη Grand' Place των Βρυξελλών (mycontinent.com).....	σελ.73
Εικόνα 5.3: Το Anderlecht στον χάρτη των Βρυξελλών (tflq.ulaval.ca).....	σελ.74
Εικόνα 5.4: Γειτονιά στο Anderlecht.....	σελ.74
Εικόνα 5.5: Η περιοχή του ναού στον χάρτη του Άντερλεχτ (maps.google.com).....	σελ.75
Εικόνα 5.6: Ο καθολικός ναός του Αγίου Φραγκίσκου Ξαβεριού στο Anderlecht των Βρυξελλών.....	σελ.75
Εικόνα 5.7: Από τις εργασίες κατασκευής (IPW 3:Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010-2011).....	σελ.76
Εικόνα 5.8: (α) Εσωτερικό του ναού όπως φαίνεται από την κύρια είσοδο (b)"Box in a box" - το ξύλινο παρεκκλήσι(IPW 3:Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010-2011)..	σελ.77
Εικόνα 5.9: Ενδεικτική παθολογία (α) υγρασία (β) σπασμένα παράθυρα (γ) διάβρωση στους αρμούς (IPW 3:Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010-2011).....	σελ.78
Εικόνα 5.10: Παλιά κάτοψη της εκκλησίας με επισημασμένες τις εισόδους και τη γαλαρία για την οποία παρήχθη ορθοφωτογραφία (IPW 3:Saint Francis Xavier Church, KU Leuven 2010 – 2011).....	σελ.79
Εικόνα 5.11: Άποψη της νότιας γαλαρίας του ναού από την οποία έγινε η λήψη των εικόνων.....	σελ.81

Εικόνα 5.12: Η CANON EOS – 1 Mark III (canon.com).....σελ.82	σελ.82
Εικόνα 5.13: Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Topcon GPT-3003LN (topcon.co.jp).....σελ.82	σελ.82
Εικόνα 5.14: (α) Λάθος τοποθέτηση στόχων (β) Σωστή τοποθέτηση στόχων (3D Risk Mapping- Theory and Practice on Terrestrial Laser scanning, University of Valencia, 2008).....σελ.83	σελ.83
Εικόνα 5.15: Οι τεχνητοί στόχοι τοποθετημένοι στη γαλαρία.....σελ.84	σελ.84
Εικόνα 5.16: Στόχος (3D Risk Mapping- Theory and Practice on Terrestrial Laser scanning, University of Valencia, 2008).....σελ.84	σελ.84
Εικόνα 5.17: Ο Scan Station 2 (ptd.leica-geosystems.com).....σελ.85	σελ.85
Εικόνα 5.18: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Scan Station 2.....σελ.85	σελ.85
Εικόνα 5.19: Cyclone Diagnostics.....σελ.86	σελ.86
Εικόνα 5.20: Τελικό νέφος σημείων.....σελ.86	σελ.86
Εικόνα 5.21: Τελικό DTM.....σελ.87	σελ.87
Εικόνες 5.22: Πολλαπλές λήψεις διαφορετικών εκθέσεων (α) -3EV, (β) -1.5 EV, (γ) 0 EV (δ) 1.5 EV (ε) 3 EV.....σελ.88	σελ.88
Εικόνα 5.23: Εικόνα HDR προερχόμενη από τις Εικόνες 5.21.....σελ.89	σελ.89
Εικόνα 5.24: Ορθοφωτογραφία με εικόνες έκθεσης 0EV.....σελ.92	σελ.92
Εικόνα 5.25: Ορθοφωτογραφία με εικόνες HDR.....σελ.92	σελ.92

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1: Το δυναμικό εύρος σε διάφορα μέσα σε τιμές EV (dxomark.com).....σελ.17	σελ.17
Πίνακας 3.1: Σχετική σχέση ανάμεσα στο δυναμικό εύρος διαφόρων μέσων (ohanaware.com).....σελ.42	σελ.42
Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα του λογισμικού Calibration_CCD για τον φακό σταθεράς 24mm..σελ.67	σελ.67
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα του λογισμικού Calibration_CCD για τον φακό σταθεράς 50mm..σελ.68	σελ.68
Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες στόχων laser και στάσεων.....σελ.85	σελ.85

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ HDR

*Συμβολή Εικόνων Υψηλού Δυναμικού Εύρους (HDR) σε Φωτογραμμετρικές Εφαρμογές
Καταγραφής της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*

ΦΑΚΟΣ 24mm (εξαγωγή Μ.Ο.)

ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ

εικόνα	xo (mm)	yo (mm)	c (mm)	K1 (E-009)	K2 (E-016)	P1 (E-008)	P2 (E-008)	skew (grad)	scale
1	17,9839	11,7642	24,5781	-5,4378860	3,7937840	2,9458300	-0,3796420	-0,00868	0,99986
2	17,9668	11,7772	24,5936	-5,6820230	4,2632680	-2,8081260	2,5222810	-0,00851	0,99978
3	17,9709	11,7706	24,5872	-5,7137910	4,2661610	1,7711220	-2,8016180	-0,00844	0,99981
4	17,9722	11,7774	24,5737	-5,5766350	3,9316780	-0,0165126	-0,6501732	-0,00189	0,99988
5	17,9731	11,7717	24,5757	-5,5473110	3,9081180	-0,3980179	2,4086870	-0,00547	0,99981
6	17,9533	11,7978	24,5705	-5,5443650	3,9736410	-7,2765570	-5,1641420	-0,00175	0,99988
7	17,9941	11,7779	24,5769	-5,5087640	3,9506070	6,5990410	0,7397350	0,01117	0,99989
M.O.	17,9735	11,7767	24,5794	-5,5729679	4,0124653	0,1166828	-0,4749817	-0,00337	0,99984

HDR

εικόνα	xo (mm)	yo (mm)	c (mm)	K1 (E-009)	K2 (E-016)	P1 (E-008)	P2 (E-008)	skew (grad)	scale
1	17,9679	11,7632	24,5711	-5,4850010	3,9422900	-4,1426700	3,3016250	-0,00148	0,99991
2	17,9840	11,7888	24,5883	-5,6287420	4,2057730	1,9172060	-4,1266310	0,00615	0,99987
3	17,9625	11,7791	24,5884	-5,5411430	4,0417600	-4,4646720	-6,0388650	0,01267	0,99979
4	17,9479	11,7918	24,5836	-5,5378200	4,0691420	-9,5627190	-2,0699940	-0,00679	0,99996
5	17,9533	11,8047	24,5855	-5,5202760	4,0236150	-6,2602410	-6,0755110	-0,00188	0,99990
6	17,9778	11,7859	24,5613	-5,4464120	3,8030480	0,0610770	-0,9749008	0,00117	1,00013
7	17,9531	11,7874	24,5752	-5,2633590	3,6429450	-10,9323300	-2,2670850	0,00779	1,00006
M.O.	17,9638	11,7859	24,5791	-5,4889647	3,9612247	-4,7691927	-2,6073374	0,00252	0,99995

διαφορές! 0,0097 -0,0092 0,0003 -0,0840031 0,0512406 4,8858755 2,1323557 -0,00589 -0,00010

ΦΑΚΟΣ 50mm (εξαγωγή Μ.Ο.)

ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ

εικόνα	xo (mm)	yo (mm)	c (mm)	K1 (E-009)	K2 (E-017)	P1 (E-008)	P2 (E-008)	skew (grad)	scale
1	17,8417	11,7883	51,8580	-2,8144790	9,2591580	1,8169950	-2,2025830	0,00147	0,99998
2	17,8145	11,7840	51,8637	-2,8235700	9,5322080	1,4775280	-0,9881498	-0,00301	0,99990
3	17,7980	11,8049	51,8306	-2,7736170	8,7624400	1,1505170	-2,6854090	0,00781	0,99986
4	17,7106	11,8051	51,8247	-2,7291980	8,5234810	-4,1254210	-1,1502840	-0,00015	0,99994
M.O.	17,7912	11,7956	51,8443	-2,7852160	9,0193218	0,0799048	-1,7566065	0,00153	0,99992

HDR

εικόνα	xo	yo	c	K1 (009)	K2 (017)	P1 (008)	P2 (008)	scw (grad)	scale
1	17,7415	11,7949	51,8169	-2,8146560	9,5311060	-3,0690700	-2,3767830	-0,00708	0,99998
2	17,8260	11,8303	51,8652	-2,7293180	8,3890580	1,4362920	-4,2683480	0,00040	1,00003
3	17,8086	11,8499	51,8811	-2,7503100	8,8521140	0,7832858	-4,6086090	-0,00419	1,00009
4	17,7626	11,8292	51,8242	-2,7178200	8,3233110	-1,8861650	-4,2216260	0,00933	1,00003
M.O.	11,8564	7,8841	34,5646	-1,8353507	5,8492648	-0,4559429	-2,5792277	-0,00026	0,66669

διαφορές! 5,9348 3,9115 17,2797 -0,9498653 3,1700569 0,5358476 0,8226212 0,00179 0,33323

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

“Υπάρχουν εμπειρικοί κόσμοι πέρα από τον επιθετικό άνθρωπο, πέρα από την ιστορία και πέρα από την επιστήμη. Οι διαθέσεις και οι ποιότητες της φύσης και οι αποκαλύψεις της σπουδαίας τέχνης είναι εξίσου δύσκολο να οριστούν. Μπορούμε να τα συλλάβουμε μόνο στα βάθη του αντιληπτικού μας πνεύματος.”

“Μία σπουδαία φωτογραφία είναι εκείνη που εκφράζει πλήρως ό,τι κάποιος αισθάνεται, με την πιο βαθιά έννοια, γι' αυτό το οποίο φωτογραφίζει.”

Ansel Adams (1902 - 1984)



Bondgenotenlaan in HDR, Leuven, Belgium
Πηγή: Αγγελος Βενέτης

