



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΟΥΡΓΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Επιβλέπων: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ

**Χρωματομετρική Ανάλυση Οθονών Υπολογιστών και
Επίδραση Ιώδους Ακτινοβολίας Στον Ανθρώπινο
Οργανισμό**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΟΥΡΓΙΑΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Επιβλέπων: Τοπαλής Φραγκίσκος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την19/7/2021.....

.....
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ιωάννης Φ. Γκόνος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Ε.Μ.Π

.....
Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2021

.....
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΒΟΥΡΓΙΔΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΒΟΥΡΓΙΔΗΣ, 2021
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Φωτοτεχνίας σε συνεργασία με το Υπουργείο Εργασίας, Κοινωνικής Ασφάλισης και Πρόνοιας, Κέντρο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΚΥΑΕ), Τμήμα προσδιορισμού φυσικών παραγόντων.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η Χρωματομετρική Ανάλυση Οθονών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και η Επίδραση Ιώδους Ακτινοβολίας Στον Ανθρώπινο Οργανισμό.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Καθηγητής ΕΜΠ κ. Φραγκίσκος Τοπαλής, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής καθώς και για την διαρκή ηθική και υλική υποστήριξη του εξασφαλίζοντας τις καλύτερες συνθήκες εργασίας κατά την παρουσία μου στο εργαστήριο Φωτοτεχνίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον διδάκτορα ΕΜΠ κ. Κωνσταντίνο Μπουρούση για την καθοδήγηση που μου παρείχε με πολύτιμες επιστημονικές συμβουλές, διαρκείς προτάσεις και καινοτόμες ερευνητικές σκέψεις. Χωρίς την βοήθεια του, δεν θα ήταν δυνατή η επιτυχής εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. Επιπλέον, δίνω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον κύριο Γεώργιο Γουρζουλίδη, διδάκτορα Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Αναπληρωτή Προϊστάμενο του τμήματος Κέντρου Έρευνας και Μετρήσεων Προσδιορισμού Βλαπτικών Παραγόντων, ο οποίος ήταν ο άνθρωπος που έδωσε την έμπνευση για την αρχική ιδέα ενασχόλησης με αυτό το θέμα, ενημερώνοντας για τους κινδύνους της ακτινοβολίας μπλε φωτός και συμβάλλοντας παράλληλα κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας στην επιστημονική της ανάπτυξη. Η αποδοχή του στην ένταξη της εργασίας στις δικές του επιστημονικές αναζητήσεις και δημοσιεύσεις, σημαίνει πολλά.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υπομονή που επέδειξε όλον αυτόν τον καιρό καθώς και την Μαρίνα που ήταν δίπλα μου σε κάθε στιγμή. Στα εύκολα και στα δύσκολα.

Αθήνα, Ιούλιος 2021

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΒΟΥΡΓΙΔΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μπλε φως εντοπίζεται σε κάθε έκφανση της σύγχρονης ζωής. Σε εξωτερικούς χώρους το φως του ήλιου ταξιδεύει μέσα από την ατμόσφαιρα. Τα χαμηλού μήκους και υψηλής ενέργειας κύματα μπλε φωτός συγκρούονται με τα μόρια του αέρα προκαλώντας την διασκόρπιση μπλε φωτός. Κατά αυτόν τον τρόπο ο ουρανός αποκτά το μπλε χρώμα του. Στην φυσική του μορφή το σώμα μας χρησιμοποιεί το μπλε φως από τον ήλιο για την ρύθμιση του φυσικού ύπνου, την αύξηση της εγρήγορσης, την βελτίωση των χρόνων απόκρισης, και την γενικότερη αίσθηση του ευ ζείν. Στις τεχνητές πηγές εκπομπής μπλε φωτός περιλαμβάνονται οι ηλεκτρονικές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα και ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Η εξέλιξη στις τεχνολογίες ψηφιακών οθονών είναι αλματώδης και πλέον οι σύγχρονοι υπολογιστές χρησιμοποιούν τεχνολογίες LED οι οποίες εκπέμπουν κύματα μπλε φωτός υψηλής ενέργειας. Εξαιτίας της διάδοσης αυτής της τεχνολογίας, εκτιθέμεθα σταδιακά σε ολοένα και περισσότερες πηγές ακτινοβολίας μπλε φωτός για όλο και μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χρωματομετρική ανάλυση οθονών ηλεκτρονικών υπολογιστών για διάφορες καταστάσεις χρήσης των οθονών μέσω της διεξαγωγής εργαστηριακών μετρήσεων φάσματος και λαμπρότητας των οθονών. Στόχος είναι η ποσοτικοποίηση του κινδύνου έκθεσης σε μπλε φως σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία περί ελάχιστων ορίων έκθεσης σε τεχνητές πηγές ακτινοβολίας. Επιπρόσθετο στόχο αποτελεί η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την λειτουργία του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού που υποστηρίζει το λειτουργικό σύστημα Windows 10 και το οποίο θεωρητικά μειώνει την εκπομπή μπλε φωτός. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ο καθορισμός των βέλτιστων συνθηκών θέασης κατά την διάρκεια χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του κινδύνου μπλε φωτός.

Λέξεις Κλειδιά: Μπλε Φως, Ευρωπαϊκή Οδηγία, Οπτική Ακτινοβολία, Μετρήσεις, Λαμπρότητα, Χρώμα, Νυχτερινός Φωτισμός, Οθόνες Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Matlab, Καμπύλες Γάμμα, επεξεργασία εικόνας, χρωματομετρική ανάλυση, μάτι

ABSTRACT

Blue light can be found in every aspect of modern life. In outdoor spaces, sunlight travels through the atmosphere. The high-energy, low-wavelength blue light waves constantly hit air molecules, causing blue light to scatter and giving the sky its blue color. Our bodies use this naturally created blue light to regulate functions like the sleep cycle, increase alertness, improve response times and give a sense of general wellness. Artificial blue light sources include electronic devices, like cell phones and personal computers. The changes in digital screen technologies have been rapid, with modern computers employing LED-technologies that emit high energy blue light. As a result of the wide use of such technologies, people are being exposed to a constantly increasing amount of blue light sources, and for a larger amount of time.

The present work performs a colorimetric analysis of personal computer screens under different use scenarios using spectral and luminance measurements collected in a controlled environment. The goal of the analysis is to quantify the potential dangers of blue light exposure, according to the European guidelines on recommended exposure times to artificial light sources. Furthermore, it aims to draw conclusions around the Windows 10 nighttime light filter feature which, in theory, mitigates blue light emissions. The final result is the determination of a set of optimal viewing conditions, with regards to minimizing blue light exposure, for using personal computers.

Keywords: Blue Light, European Directive, Optical Radiation, Measurements, Luminance, Color, Night Light, Computer Screens, Matlab, Gamma Curves, Image Processing, Colorimetric Analysis, Eye, Retina

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	13
1.2. ΦΑΣΕΙΣ.....	14
1.3. ΔΟΜΗ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	19
2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ.....	21
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
2.2. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ.....	21
2.2.1. ΟΠΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	21
2.2.2. ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΦΩΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΜΑΤΙ.....	23
2.2.3. ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΦΩΤΟΣ: Ο ΟΠΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....	24
2.3. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΦΩΤΟΣ ΣΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ.....	25
2.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	25
2.3.2. ΜΠΛΕ ΦΩΣ:ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	26
2.3.3. ΜΠΛΕ ΦΩΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΟΡΑΣΗ.....	27
2.4. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ ΑΠΟ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΟΘΟΝΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	32
3. ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΩΤΟΣ ΣΕ ΟΘΟΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ	34
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	34
3.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΟΘΟΝΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ.....	35
3.2.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CRT.....	35
3.2.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΓΡΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ (LCD).....	37
3.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΟΘΟΝΩΝ.....	40
3.4. ΤΥΠΟΙ ΠΑΝΕΛ ΟΘΟΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ.....	44
3.4.1. TN (TWISTED NEMATIC) PANELS.....	45
3.4.2. IPS (IN-PLANE SWITCHING) PANELS.....	45
3.4.3. VA (VERTICAL ALIGNMENT) PANELS.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	48
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	50
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	50
4.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	51
4.2.1. ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ PATCHES.....	51
4.2.2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΘΟΝΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ.....	53
4.2.3. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	54
4.3. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	69

5. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ.....	71
5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ.....	71
5.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΑΜΜΑ.....	74
5.3. ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ ..	77
5.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	77
5.3.1. ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ	78
5.3.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ	82
5.3.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΗΣ.....	84
5.4. ΟΔΗΓΙΑ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΠΕΡΙ ΟΡΙΩΝ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΤΕΧΝΗΤΗ ΟΠΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	90
5.5. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΘΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΥΡΕΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ.....	94
5.5.1. ΕΥΡΕΣΗ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ.....	94
5.5.2. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΥΡΕΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ.....	103
5.6. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΗ.....	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	117
6.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	118
6.2. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	119
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	139



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Το φως αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά σωματίδια τα οποία μεταδίδονται ως κύματα. Αυτά τα κύματα εκπέμπουν ενέργεια και διαφέρουν σε μήκος και ένταση. Όσο πιο μικρό είναι ένα μήκος κύματος τόσο πιο μεγάλη ενέργεια εκπέμπει. Το ανθρώπινο μάτι παρουσιάζει ευαισθησία μόνο σε ένα τμήμα μήκους κύματος το οποίο ονομάζεται ορατό φως και εκτείνεται από 380 έως 780 nm. Το μπλε φως βρίσκεται στα χαμηλότερα μήκη κύματος αυτής της περιοχής και συνεπώς παράγει μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε βλάβη του αμφιβληστροειδούς ή και απώλεια όρασης.

Πηγές ακτινοβολίας μπλε φωτός δύναται να είναι τόσο φυσικές όσο και τεχνητές. Μία από τις τεχνητές πηγές ακτινοβολίας μπλε φωτός αποτελούν οι ηλεκτρονικές συσκευές και ειδικότερα οι οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στην ψηφιακή αναπαραγωγή εικόνας έχει αυξηθεί με την πάροδο των ετών και πολλές οθόνες χρησιμοποιούν τεχνολογία LED για να βελτιώσουν την ποιότητα θέασης. Αυτή η τεχνολογία εκπέμπει έντονα κύματα μπλε φωτός και εξαιτίας της ευρείας χρήσης τους, βρισκόμαστε σε ολόένα και μεγαλύτερο κίνδυνο από την αυξανόμενη έκθεση μας σε πηγές μπλε φωτός για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η ανάγκη μελέτης αυτής της εκπομπής μπλε φωτός από τις οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών για την εκτίμηση του κινδύνου που ενέχει αυτή η τεχνητή οπτική ακτινοβολία από την στιγμή που οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αποτελούν απαραίτητο εργαλείο εργασίας και συνεπώς ο χρόνος θέασης μπροστά από οθόνες βαίνει αυξανόμενος.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χρωματομετρική μελέτη διαφόρων τεχνολογιών οθονών ηλεκτρονικών υπολογιστών μέσω πειραματικών μετρήσεων με σκοπό την ποσοτικοποίηση του κινδύνου μπλε φωτός όπως αυτός υπαγορεύεται από την οδηγία 2006/25/EK περί των ελαχίστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (τεχνητή οπτική ακτινοβολία).

Ως αποτέλεσμα αυτής της εργασίας επιθυμούμε να είναι η σωστή ποσοτικοποίηση του κινδύνου μπλε φωτός για διάφορες οθόνες και για ρεαλιστικές καταστάσεις χρήσης αυτών με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον κίνδυνο μπλε φωτός που αντιμετωπίζουν οι



εργαζόμενοι κατά την εργασία τους. Επιπλέον η μαθηματική διαδικασία ποσοτικοποίησης του κινδύνου μπλε φωτός έγινε και υπό την συνθήκη λειτουργίας του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού, δηλαδή της λειτουργίας που προσφέρουν οι σύγχρονες οθόνες για την μείωση εκπομπής μπλε φωτός. Κατά αυτόν τον τρόπο αποσκοπούμε στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του φίλτρου και στο κατά πόσο αυτή η λειτουργία είναι πραγματικά επιδραστική στην μείωση εκπομπής μπλε φωτός.

1.2. ΦΑΣΕΙΣ

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα μεταξύ Ιουλίου 2019 και Ιουλίου 2021 και για την ολοκλήρωσή της ακολουθήθηκε η πορεία που παρουσιάζεται στη συνέχεια και συνίσταται από 5 φάσεις.

1^η ΦΑΣΗ: *Μελέτη και αξιολόγηση των υπαρχόντων πηγών επιστημονικής πληροφορίας σχετικά με την ακτινοβολία μπλε φωτός από τις οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών*

Στην πρώτη φάση, ερευνήθηκαν αφενός, η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης περί των ελαχίστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (τεχνητή οπτική ακτινοβολία) και αφετέρου τα υπάρχοντα άρθρα της επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά με την ακτινοβολία μπλε φωτός από οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αξιολογήθηκε η δυνατότητά τους να μας παρέχουν πληροφορίες χρήσιμες σχετικά με την κατάστροψη και υλοποίηση της δικής μας πειραματικής διάταξης.

2^η ΦΑΣΗ: *Διαμόρφωση και σχεδίαση της πειραματικής διαδικασίας*

Αφού συγκεντρώθηκαν χρήσιμες πληροφορίες από την προηγούμενη φάση, διαμορφώθηκε η πειραματική διαδικασία σκοπός της οποίας ήταν η κατά το δυνατόν αποτελεσματικότερη διεξαγωγή και εκτέλεση των πειραματικών μετρήσεων με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του αριθμού των απαιτούμενων οργάνων μέτρησης. Παράλληλα, σημαντικό ρόλο στην σχεδίαση και εκτέλεση των πειραματικών μετρήσεων διαδραμάτισε η σκέψη μας αναφορικά με το τι συμπεράσματα θα θέλαμε να προκύψουν στο τέλος της εργασίας σχετικά με το πως



μεταβάλλεται η ακτινοβολία μπλε φωτός στον εργαζόμενο ανάλογα με την ηλικία του αλλά και με την κατάσταση χρήσης της οθόνης του όσο εκείνος εργάζεται.

3^η ΦΑΣΗ: *Εκτέλεση Πειραματικών Μετρήσεων*

Στη φάση αυτή, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που εξήχθη προηγουμένως και πραγματοποιήθηκε η διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων στο εργαστήριο Φωτοτεχνίας. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην περιστολή των σφαλμάτων μέτρησης γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την επανάληψη των πειραματικών μετρήσεων κατ' εξακολούθηση.

4^η ΦΑΣΗ: *Κατάστρωση αλγοριθμικής μεθόδου επεξεργασίας και ανάλυσης των πειραματικών αποτελεσμάτων*

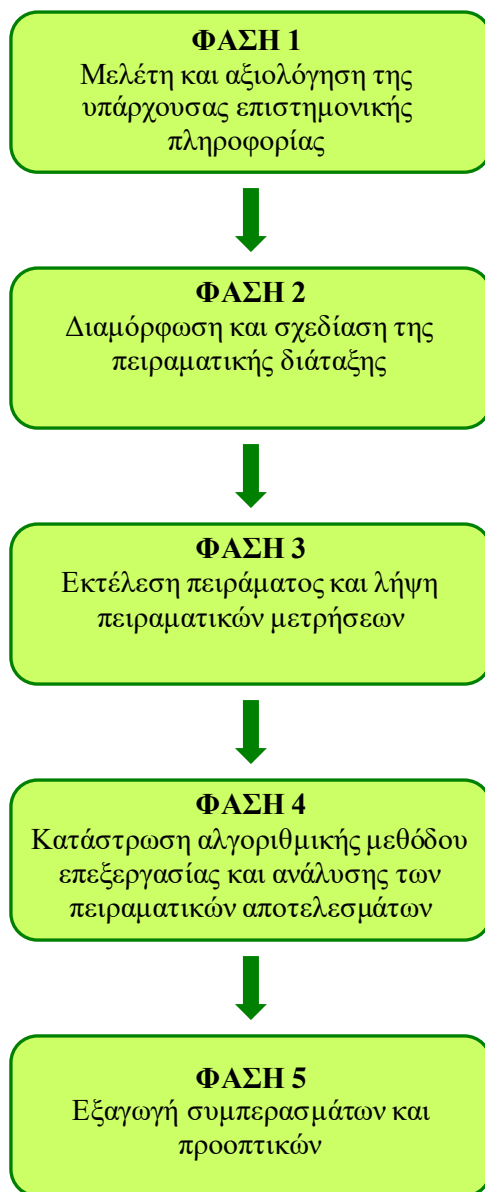
Τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων που συγκεντρώθηκαν στην προηγούμενη φάση, χρησιμοποιήθηκαν ως «είσοδοι» στις αλγοριθμικές και ποσοτικές μεθόδους επεξεργασίας δεδομένων που καταστρώσαμε, έχοντας ως βάση τις μαθηματικές εκφράσεις που υπαγορεύει η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως αυτή αναφέρθηκε στην πρώτη φάση.

5^η ΦΑΣΗ: *Εξαγωγή συμπερασμάτων και προοπτικών*

Στην τελευταία φάση, παρουσιάστηκαν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και οι προοπτικές διεύρυνσης της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Η αλληλουχία των φάσεων παρουσιάζεται και γραφικά στη συνέχεια.

Σχήμα 1.1. Φάσεις Εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας





1.3. ΔΟΜΗ

Το κύριο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από έξι κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων παρουσιάζεται στη συνέχεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται συνοπτικά το αντικείμενο και ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας, οι φάσεις εκπόνησής της και η δομή της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Εισαγωγικές Έννοιες Ακτινοβολίας Μπλε Φωτός

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι εισαγωγικές έννοιες ακτινοβολίας φωτός και πως αυτές κατατάσσονται με βάση το μήκος κύματος εκπομπής της ακτινοβολίας. Επιπλέον περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία αντίχρευσσης φωτός από το ανθρώπινο μάτι ενώ αναφέρονται και οι μηχανισμοί που υποβοηθούν την αντίχρευση της οπτικής ακτινοβολίας. Επιπλέον γίνεται αναφορά στα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής έρευνας τα οποία αφορούν την φωτοχημική επίπτωση που παρατηρήθηκε σε εργαζόμενους από την εκπομπή ακτινοβολίας μπλε φωτός θεωρώντας ως φωτεινή πηγή ψηφιακές οθόνες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αναπαραγωγή Φωτός σε Οθόνες Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται η επισκόπηση των διαφόρων τεχνολογιών αναπαραγωγής ψηφιακής εικόνας βάσει των οποίων γίνεται η κατασκευή των σύγχρονων οθονών ηλεκτρονικών υπολογιστών. Παράλληλα αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούν την μονάδα οπίσθιου φωτισμού για την μετατροπή του φωτός σε οπτική πληροφορία. Επιπλέον καθορίζονται τα χαρακτηριστικά απόδοσης μιας οθόνης υπολογιστή ενώ στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου γίνεται η καταγραφή των διαφόρων τύπων τεχνολογιών πάνελ οθονών, το οποίο αποτελεί και το βασικότερο στοιχείο για την εκτίμηση της ποιότητας αναπαραγωγής. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μια ποιοτική σύγκριση των διαφορετικών τεχνολογιών πάνελ οθονών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Πειραματική Διαδικασία

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος σκέψης που ακολουθήθηκε κατά τον σχεδιασμό της πειραματικής διαδικασίας, τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για αυτήν καθώς και η τοπολογία του πειράματος δηλαδή η θέση του τυπικού παρατηρητή που ορίσαμε. Επιπλέον ορίζονται τα χρωματικά patches που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία των μετρήσεων καθώς και οι καταστάσεις χρήσης των οθονών που επιλέξαμε να προσομοιώσουμε έχοντας ως αφετηρία τα άνωθεν χρωματικά patches.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ποσοτική Ανάλυση Πειραματικών Μετρήσεων για την Εύρεση Κινδύνου Μπλε Φωτός

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται η ευρωπαϊκή οδηγία βάση της οποίας έγινε η μαθηματική ανάλυση για την ποσοτικοποίηση του κινδύνου μπλε φωτός. Παράλληλα παρατίθεται η μέθοδος ανάλυσης εικόνας των καταστάσεων χρήσης και ο τρόπος με τον οποίο τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης χρησιμοποιούνται για την εύρεση του φάσματος εκπομπής των οθονών για κάθε κατάσταση χρήσης. Επιπλέον περιγράφονται οι μαθηματικές εκφράσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση του κινδύνου μπλε φωτός ενώ η μαθηματική διαδικασία έγινε και για την περίπτωση που στις οθόνες εφαρμόζεται ένα φίλτρο μείωσης της εκπομπής μπλε φωτός προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την λειτουργία αυτού. Τέλος αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο το φάσμα εκπομπής των οθονών μεταφράζεται σε ακτινοβολία στον αμφιβληστροειδή του ανθρώπου .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα και Προοπτικές

Στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και εξετάζονται πιθανές προοπτικές διεύρυνσης της έρευνας που πραγματοποιήθηκε.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

ΜΙΑΛΕ ΦΩΤΟΣ



2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ανθρώπινος οφθαλμός προσαρμόζεται στις συνθήκες ζωής που διαμορφώνει ένας κόσμος γεμάτος με φως. Το φως του ήλιου όχι μόνο ενεργοποιεί την όραση αλλά διεγείρει βασικές φυσιολογικές λειτουργίες όπως η συστολή-διαστολή της κόρης του οφθαλμού και ο συγχρονισμός του κιρκάδιου ρυθμού δηλαδή του ανθρώπινου εσωτερικού βιολογικού ρολογιού [1]. Παρ' όλα αυτά, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε τον κίνδυνο που μπορεί να επιφέρει η έκθεση στον ήλιο, τόσο στο δέρμα όσο και στα μάτια. Άλλωστε, το φάσμα της οπτικής ακτινοβολίας εκτείνεται σε ένα μεγάλο εύρος από μήκη κύματος, κάποια εκ των οποίων δεν είναι απαραίτητα ευεργετικά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να βρεθεί σε κίνδυνο τόσο από βραχυπρόθεσμη αλλά και μακροπρόθεσμη έκθεση σε ηλιακή ή τεχνητή οπτική ακτινοβολία. Οι σοβαροί κίνδυνοι που ανακύπτουν από την UV ακτινοβολία στα μάτια και το δέρμα έχουν ήδη ερευνηθεί και παρουσιαστεί από την επιστημονική βιβλιογραφία. Πλέον, διενεργούνται όλο και περισσότερες επιστημονικές μελέτες που ως στόχο τους έχουν την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την βλάβη που μπορεί να προκαλέσει η μακροπρόθεσμη ακτινοβολία μπλε φωτός στους φωτο-υποδοχείς του αμφιβληστροειδούς.

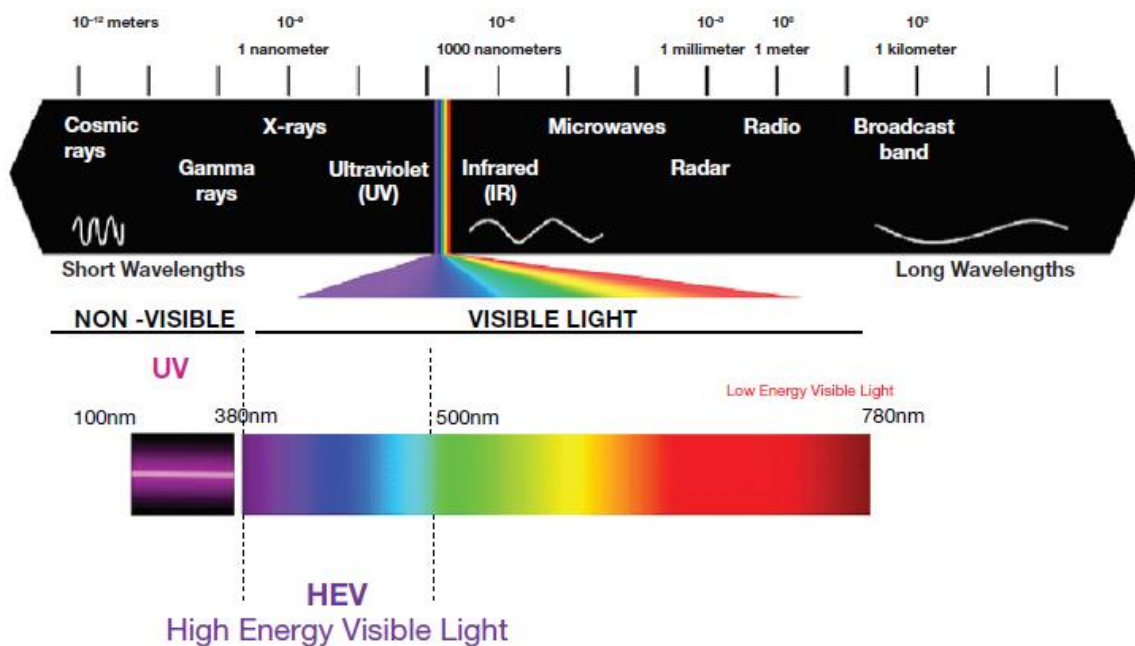
2.2. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΣ

2.2.1. ΟΠΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις κατηγορίες με βάση τον όρο οπτική ακτινοβολία (σχήμα 2.2.1).

- Η ακτινοβολία UV περιέχει τα μήκη κύματος από 100 nm μέχρι 380 nm που υπό-κατηγοριοποιούνται ως εξής [2]:
 1. Ακτινοβολία UVA από 315 nm μέχρι 380nm
 2. Ακτινοβολία UVB από 280 nm μέχρι 315 nm
 3. Ακτινοβολία UVC από 100 nm μέχρι 280 nm

- Η ακτινοβολία ορατού φωτός περιέχει τα μήκη κύματος από 380 nm μέχρι 780nm που υπό-κατηγοριοποιούνται ως εξής [2]:
 1. Ακτινοβολία «μικρού» μήκους κύματος φωτός (κυανό)
 2. Ακτινοβολία «μεσαίου» μήκους κύματος φωτός (πράσινο)
 3. Ακτινοβολία «μεγάλου» μήκους κύματος φωτός (κόκκινο)
- Η υπέρυθη ακτινοβολία περιέχει τα μήκη κύματος από 780 nm μέχρι 10.000 nm που υπό-κατηγοριοποιούνται ως εξής [2]:
 1. Ακτινοβολία IRA από 780 nm μέχρι 1400 nm
 2. Ακτινοβολία IRB από 1400 nm μέχρι 3000 nm
 3. Ακτινοβολία IRC από 3000nm μέχρι 10000 nm



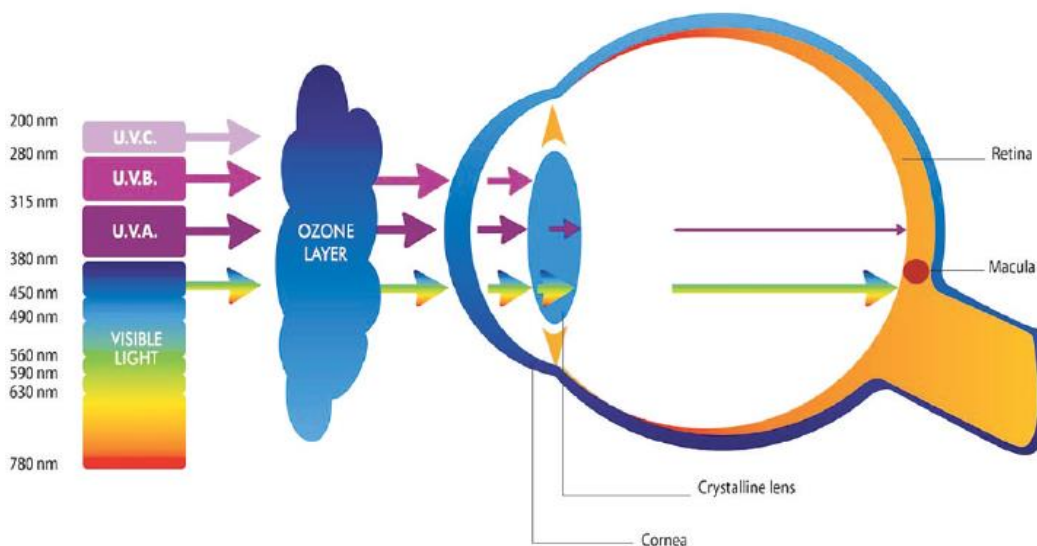
Σχήμα 2.2.1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και η οπτική ακτινοβολία

Το ορατό φως όπως και κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπει ενέργεια. Το ποσό της ενέργειας των φωτονίων είναι συνάρτηση του μήκους κύματος, με τα μήκη κύματος μικρότερου μήκους να έχουν μεγαλύτερη ενέργεια. Συνεπώς το φως χρώματος μπλε-βιολετί ενέχει την μεγαλύτερη ενέργεια από τις υποκατηγορίες του ορατού φωτός που αναφέρθηκαν άνωθεν.

2.2.2. ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΦΩΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΜΑΤΙ

Η οπτική ανταπόκριση πραγματοποιείται όταν το φως προσεγγίζει τον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας είναι μια περίπλοκη κατασκευή που αποτελείται από ειδικά κύτταρα τα οποία δομούν το εσωτερικότερο επίστρωμα του βολβού του ματιού. Το φως, πριν φτάσει στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, διαπερνά τα οπτικά μέρη του οφθαλμού δηλαδή τους διαφανείς ιστούς και τα υδατοειδή οπτικά υγρά που βρίσκονται ανάμεσα στο εμπρόσθιο μέρος του οφθαλμού και στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Τα οπτικά μέρη τα οποία αποτελούνται από τον κερατοειδή χιτώνα, τα υδατοειδή υγρά τα οποία βοηθούν τον φακό του οφθαλμού να διατηρεί το σχήμα του, τον κρυσταλλοειδή φακό και τα υαλοειδή υγρά - έχουν την δυνατότητα είτε να απορροφούν είτε να εκπέμπουν φως ανάλογα με το μήκος κύματος του.

Σχεδόν όλη η UV ακτινοβολία που αγγίζει το μάτι απορροφάται από τον κερατοειδή χιτώνα ή τον κρυσταλλοειδή φακό ούτως ώστε μόνο το 1% με 2% της ακτινοβολίας UV να μεταδίδεται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού ενός ενήλικα [3]. Ο κερατοειδής χιτώνας και ο κρυσταλλοειδής φακός δεν επιτρέπουν την IRA ακτινοβολία, την υπέρυθη ακτινοβολία άνω των 980 nm και τα υαλοειδή υγρά απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία άνω των 1400 nm που δεν απορροφήθηκε από τον κρυσταλλοειδή φακό. Το αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας «φιλτραρίσματος» από τα οπτικά μέρη του ματιού είναι ότι ο αμφιβληστροειδής χιτώνας εκτίθεται μόνο στην περιοχή ακτινοβολίας του ορατού φωτός (σχήμα 2.2.2)



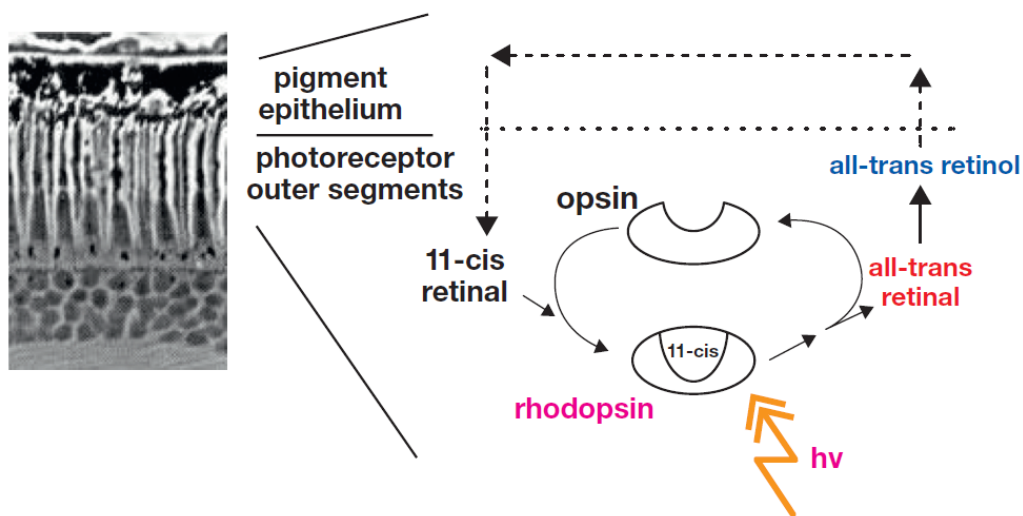
Σχήμα 2.2.2. Απορρόφηση και μετάδοση της ακτινοβολίας στο μάτι. Ο κερατοειδής χιτώνας (cornea) και ο κρυσταλλοειδής φακός φιλτράρουν την ακτινοβολία UVB και μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας UVA ούτως ώστε το φως με την μεγαλύτερη ενέργεια που αγγίζει τον αμφιβληστροειδή να είναι το κυανό-βιολετί μικρού μήκους κύματος.



2.2.3. ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΦΩΤΟΣ: Ο ΟΠΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Η οπτική λειτουργία εξαρτάται από δύο ειδών υποδοχέων φωτός που ευρίσκονται μέσα στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Τα ραβδία και τα κωνία. Η όραση μέσω των ραβδίων, τα οποία απαιτούνται για την σκοτοπική όραση, δεν ενέχει χρωματική πληροφορία και χαρακτηρίζεται από υψηλή ευαισθησία αλλά χαμηλή ανάλυση. Από την άλλη, τα κωνία, τα οποία βρίσκονται σε υψηλή συγκέντρωση στο κέντρο της κηλίδας του αμφιβληστροειδούς, ενεργοποιούν την αναγνώριση χρώματος και την υψηλή ανάλυση εικόνας. Τα ραβδία και τα κωνία στον αμφιβληστροειδή εκκινούν την οπτική διαδικασία όταν τα χημικά συστατικά του οφθαλμού απορροφούν την ενέργεια των φωτονίων και την μετατρέπουν σε νευρωνικά σήματα. Αυτή η βιολογική μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρικά σήματα υποστηρίζεται από μία διαδικασία στην οποία μεσολαβούν ένζυμα που ονομάζεται οπτικός κύκλος, ο οποίος επιτρέπει την αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση χρήσιμων χημικών στην αντίδραση. Το σύνολο των χημικών στοιχείων που εκκινούν την διαδικασία (visual pigments) αποτελούνται από μία ομάδα πρωτεϊνών (opsin) συνδυασμένες με το άτομο 11 cis retinal το οποίο είναι η χημική βάση για την όραση. Η σημαντική φωτοχημική αντίδραση που προκαλείται από την προσπίπτουσα ενέργεια των φωτονίων είναι η μετατροπή του ισομερούς 11 cis retinal σε all trans retinal. Αυτό έχει ως επίπτωση την αλλαγή του σχήματος των μορίων του αμφιβληστροειδούς καθώς διακόπτεται η σύνδεση τους με την άνωθεν ομάδα πρωτεϊνών (opsin). Τα ελεύθερα πλέον μόρια (opsin free) μπορούν να εκκινήσουν μια σειρά από αντιδράσεις που οδηγούν στο νευρωνικό σήμα και κατ' επέκταση στην όραση. Την ίδια στιγμή τα ισομερή all trans retinal μετατρέπονται σε all trans retinol και μεταφέρονται στην εξώτερη στοιβάδα του αμφιβληστροειδούς (Retinal Epithelium Pigment, RPE) όπου είτε αποθηκεύονται είτε επανακατασκευάζονται στο ισομερές 11 cis retinal για μεταφορά στους φωτο-υποδοχείς. Σε εκείνο το σημείο μπορούν να συνδυαστούν ξανά με την ομάδα των πρωτεϊνών (opsin) προκειμένου να ολοκληρώσουν τον οπτικό κύκλο (σχήμα 2.2.3)

Ο οπτικός κύκλος πραγματοποιείται μέσα στο εξωτερικό μέρος των ραβδίων και των κωνίων και εντός των κελιών της εξώτερης στοιβάδας του αμφιβληστροειδούς. Τα συγκεκριμένα κύτταρα δεν λειτουργούν ως φωτο-υποδοχείς αλλά είναι απαραίτητα αφενός στην επαναδημιουργία των χημικών στοιχείων που εκκινούν την διαδικασία και αφετέρου διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στην επιβίωση και καλή λειτουργία των φωτο-υποδοχέων.



Σχήμα 2.2.3. Ο οπτικός κύκλος

2.3. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΦΩΤΟΣ ΣΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

2.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρ' όλο που το φως είναι απαραίτητο στην όραση, η ακτινοβολία αυτού μπορεί να προκαλέσει παθολογικές αλλαγές στον οπτικό ιστό διαμέσου της απορρόφησης της ενέργειας των φωτονίων. Σε αυτή την περίπτωση, η ενέργεια των φωτονίων μπορεί να εκλυθεί ως θερμότητα και/ή να αποθηκευτεί μέσω φωτοχημικής αντίδρασης. Αυτό που αξίζει να τονιστεί είναι ότι η ενέργεια των φωτονίων, η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα στην διαδικασία μελέτης της διάδρασης του φωτός με τα μόρια που συνθέτουν τα οπτικά κελιά και τους οπτικούς ιστούς. Για παράδειγμα, σε μήκος κύματος 400nm τα φωτόνια είναι πολύ πιο ενεργητικά και η πιθανότητα να διαφοροποιήσουν τα μόρια με τα οποία έρχονται σε επαφή είναι μεγαλύτερη απ' ό τι στο μήκος κύματος 500 nm. Συνεπώς το φως στην περιοχή των 400 nm εμπεριέχει φωτόνια μεγαλύτερης ενέργειας και εγείρεται πραγματικός λόγος ανησυχίας σχετικά με τις επιπτώσεις που παρουσιάζει αυτή η ακτινοβολία υψηλής ενέργειας.



Οξεία έκθεση σε έντονο φως ενδέχεται να προκαλέσει θερμική βλάβη ενώ χαμηλότερα επίπεδα έκθεσης ενδέχεται να προκαλέσουν την αργή συγκέντρωση επιβλαβών φωτοχημικών ουσιών γεγονός που οδηγεί στην καταστροφή των κυττάρων του οπτικού ιστού.

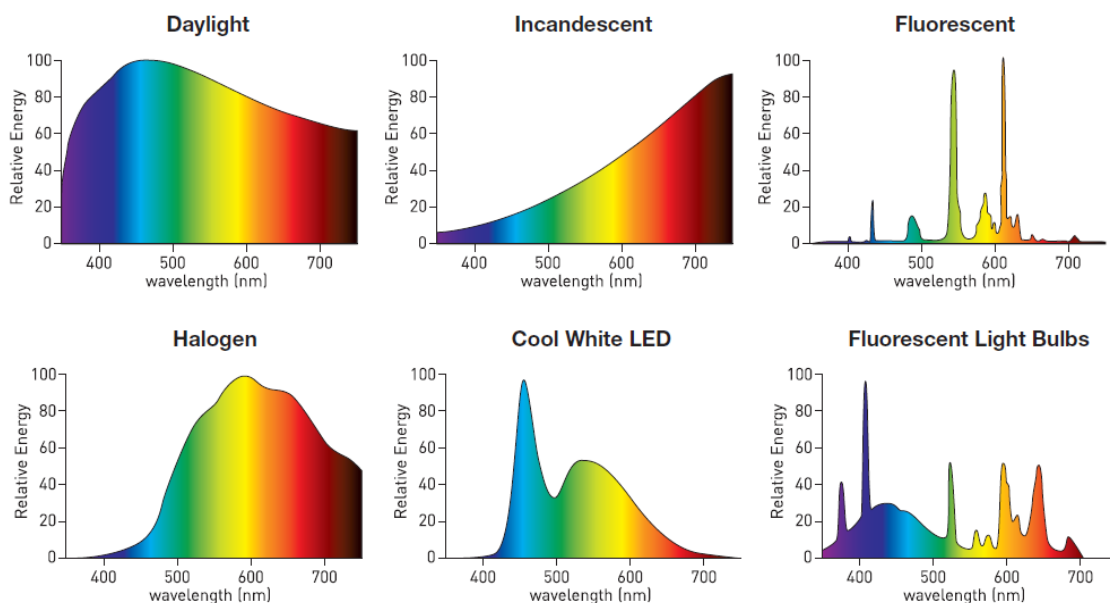
Έχει μελετηθεί και αποδειχθεί ότι η ηλιακή UV ακτινοβολία είναι επιβλαβής για την οπτική υγεία καθώς η χρόνια έκθεση σε αυτή αυξάνει το ρίσκο της εμφάνισης πτερυγίου δηλαδή καλοήθους όγκου σφηνοειδούς σχήματος στην περιοχή του κερατοειδούς, καταρράκτη και άλλων οφθαλμικών ασθενειών. Όπως όμως προαναφέραμε στην ενότητα 2.2.2, η ακτινοβολία UV απορροφάται πλήρως από τα οπτικά μέρη πριν προσεγγίσει τον αμφιβληστροειδή. Συνεπώς οι επιβλαβείς επιπτώσεις της UV ακτινοβολίας εντοπίζονται στον κρυσταλλοειδή φακό και στον κερατοειδή χιτώνα. Παρ' όλα αυτά, αποτελέσματα επιστημονικών μελετών δείχνουν ότι προς επίτευξη της πλήρους προστασίας του οφθαλμού απαιτούνται πολλές περισσότερες ενέργειες από τον απλό αποκλεισμό της UV ακτινοβολίας [4].

2.3.2. ΜΠΛΕ ΦΩΣ: ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Στο φάσμα του ορατού φωτός, τα μήκη κύματος μεταξύ 380 nm και 500 nm εμπεριέχουν μήκη κύματος χρώματος βιολετί, κυανού και πρασίνου. Αυτή η περιοχή του φάσματος είναι γνωστή ως «Ορατό Φως Υψηλής Ενέργειας» (High Energy Visible light) λόγω της συγκέντρωσης φωτονίων υψηλής ενέργειας που σχετίζονται με το μικρό μήκος κύματος όπως αναφέραμε στην ενότητα 2.3.1.

Ο ήλιος αποτελεί την πρωταρχική πηγή εκπομπής μπλε φωτός αλλά όχι την μοναδική. Οι άνθρωποι υπόκεινται σε ολοένα αυξανόμενη ακτινοβολία μπλε φωτός από τεχνητές πηγές ακτινοβολίας, των οποίων η φασματική κατανομή διαφέρει ανάλογα με την πηγή εκπομπής.

Η ηλιακή ακτινοβολία εμπεριέχει περίπου 25% με 30% μπλε φως ενώ συμβατικοί λαμπτήρες πυράκτωσης εκπέμπουν πολύ λιγότερο μπλε φως (περίπου 3%). Πιο σύγχρονες τεχνητές φωτεινές πηγές εκπέμπουν υψηλότερα επίπεδα μπλε φωτός με τους συμπαγείς λαμπτήρες φθορίου να βρίσκονται στο 26% ενώ η οπτική ακτινοβολία μπλε χρώματος από τις φωτεινές διόδους λευκού φωτός (LEDs) φτάνει το 35% (σχήμα 2.3.2) [5].



Σχήμα 2.3.2. Φασματική κατανομή διαφόρων φωτεινών πηγών

2.3.3. ΜΠΛΕ ΦΩΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΟΡΑΣΗ

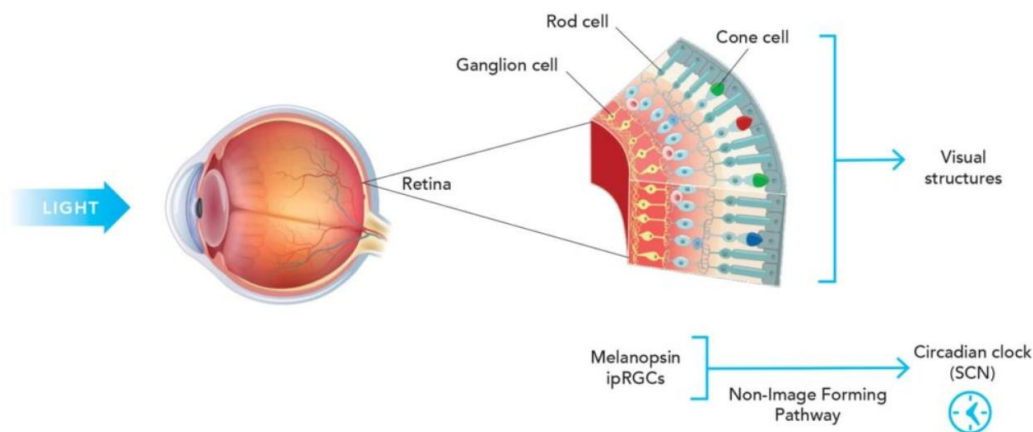
Η ακτινοβολία UV και ορατού φωτός έχει παρατηρηθεί ότι προκαλεί φωτοχημικές βλάβες στους φωτο-υποδοχείς του αμφιβληστροειδούς και στα κύτταρα RPE [6,7,8]. Από την στιγμή που η εμπρόσθια δομή ενός υγιούς οφθαλμού προστατεύει με φυσικό τρόπο τον αμφιβληστροειδή από την ακτινοβολία UV, η φωτο-τοξικότητα του αμφιβληστροειδούς εμφανίζεται εξαιτίας της φωτοχημικής βλάβης που προκαλεί η έκθεση μακράς διάρκειας σε ορατό φως, ειδικότερα στο υψηλότερης ενέργειας μπλε φως. Κατά συνέπεια το μπλε φως ενέχει τον μεγαλύτερο κίνδυνο πρόκλησης φωτοχημικών βλαβών οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε διαταραχές του αμφιβληστροειδούς όπως η εκφύλιση της ώχρας κηλίδας με την πάροδο του χρόνου (Age-related macular degeneration, AMD) [9,10,11,12].

Από την άλλη βέβαια, το μπλε φως είναι σημαντικό σε οπτικές διεργασίες όπως η αντίληψη χρωμάτων με νέες έρευνες να δείχνουν ότι το μπλε φως διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε μη οπτικές λειτουργίες όπως η λειτουργία του κερκάδιου ρυθμού και η απόκριση των αντανακλαστικών της κόρης του ανθρώπινου οφθαλμού [1,13,14].

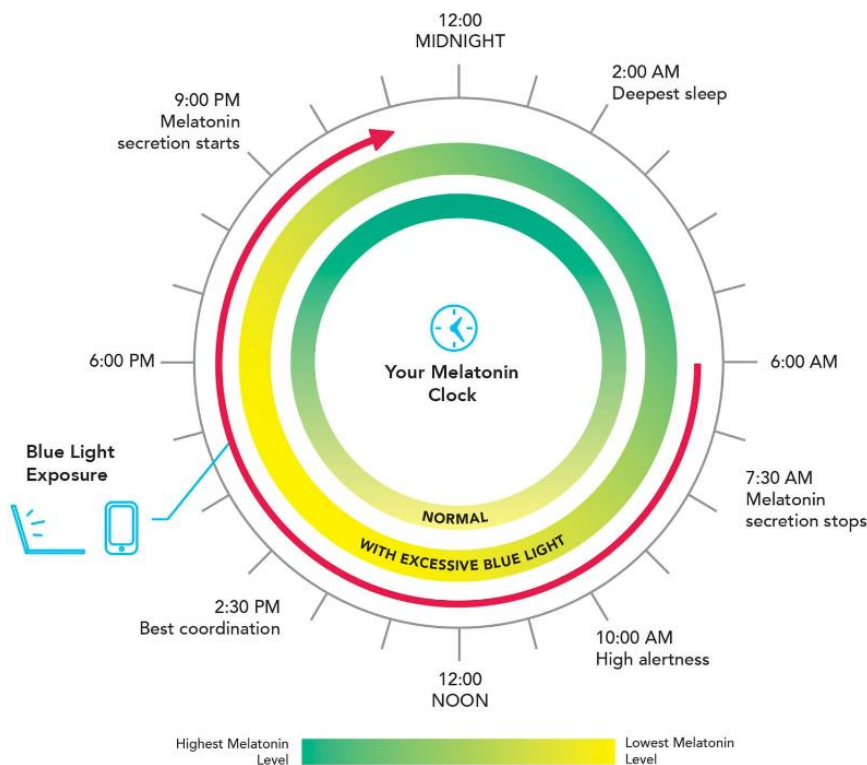
Αυτές οι μη οπτικές λειτουργίες εξαρτώνται από έναν νέο τύπο φωτο-υποδοχέων που συνυπάρχει μαζί με τα ραβδία και τα κωνία και τα οποία αποκαλούνται «εγγενώς φωτοευαίσθητα κελιά γαγγλίου του αμφιβληστροειδούς» ή με την αγγλική ορολογία «intrinsically photosensitive retinal ganglion cells» (ipRGCs). Αυτά τα κύτταρα, σε αντίθεση με τα κωνία, δημιουργούν ένα δίκτυο φωτο-υποδοχέων που εκτείνεται στο εσωτερικό του αμφιβληστροειδούς (σχήμα 2.3.3.1). Επιπροσθέτως τα κύτταρα αυτά, περιέχουν την μελανοψίνη η οποία είναι μια ουσία υπεύθυνη για την ρύθμιση του εσωτερικού βιολογικού μας ρολογιού. Για τον λόγο αυτό το φάσμα απορρόφησης της μελανοψίνης αποκαλείται και χρονοβιολογική φασματική δέσμη, μια δέσμη η οποία παρουσιάζει μέγιστο στα 480 nm , εντός του μήκους κύματος μπλε φωτός [14].

Η απόκριση των ipRGCs στην χρονοβιολογική φασματική δέσμη ρυθμίζει αρκετές μη οπτικές φυσιολογικές λειτουργίες όπως η έκκριση μελατονίνης (melatonin suppression, σχήμα 2.3.3.2), η διανοητική απόδοση (cognitive performance) , η λειτουργία του κικκάδιου ρυθμού (circadian entrainment), η διάθεση, η μνήμη, η κινητική δραστηριότητα (locomotor activity) και η θερμοκρασία σώματος [15,16,17].

Γίνεται λοιπόν ξεκάθαρος ο απαραίτητος ρόλος του μπλε φωτός στην καθημερινή μας ζωή και η απλή σκέψη του φιλτραρίσματος όλου του φάσματος του μπλε εξαιτίας του «κινδύνου μπλε φωτός» (Blue Light Hazard) κρίνεται ως λανθασμένη καθώς εξαιτίας του αποκλεισμού ενδέχεται να επηρεαστούν φυσιολογικές ανθρώπινες λειτουργίες που εκτελούνται λόγω της αντίδρασης μεταξύ του φωτός και των ipRGCs στην χρονοβιολογική φασματική δέσμη.



Σχήμα 2.3.3.1. Φωτο υποδοχείς και μονοπάτι μη οπτικών λειτουργιών.



Σχήμα 2.3.3.2. Το μπλε φως και η απουσία του ρυθμίζουν το ρολόι της μελατονίνης. Υπερβολική έκθεση σε ακτινοβολία μπλε φωτός, ειδικά τις βραδινές ώρες, ενδέχεται να προκαλέσει διαταραχή στο ρολόι της μελατονίνης.

2.4. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ ΑΠΟ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΟΘΟΝΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Μεταξύ όλων των ψηφιακών συσκευών που χρησιμοποιούνται σε σύγχρονους εργασιακούς χώρους όπως tablets, smart phones, ψηφιακά μέσα τηλεδιασκέψεων και συστήματα παρουσιάσεων, οι οθόνες υπολογιστών προκρίνονται ως οι πιο απαραίτητες. Σύμφωνα με έρευνα της Αμερικανικής Επιθεώρησης Εργασίας η χρήση υπολογιστών είναι υψηλή για υπαλλήλους γραφείου και πωλήσεων (περίπου 67%) και υψηλότερη για μηχανικούς και διευθυντές (περίπου 80%) εν συγκρίσει με άλλους επαγγελματικούς κλάδους [18]. Μετά την εισαγωγή των υπολογιστών στους χώρους εργασίας γραφείων, μελέτες έδειξαν την συσχέτιση της ακτινοβολίας των οθονών με συμπτώματα κόπωσης και οπτικής δυσχέρειας [19]. Με την πάροδο των χρόνων, ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, η μη ιονίζουσα ακτινοβολία και ιδιαίτερα το μπλε φως από



ψηφιακές οθόνες ήταν το επίκεντρο ερωτήσεων σχετικά με το αν μπορούν να αποβούν επιβλαβή [20][21]. Η ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) δημοσίευσε οδηγίες σχετικά με την οπτική ακτινοβολία με σκοπό τον ορισμό ορίων έκθεσης [22]. Αυτές οι οδηγίες δεν κάνουν διαχωρισμό μεταξύ του εργατικού δυναμικού ή του γενικού πληθυσμού έχοντας θέσει την οριακή τιμή, πάνω την οποία προκύπτουν φωτοχημικές επιπτώσεις μέχρι και 48 ώρες από την έκθεση. Παρ' όλα αυτά οι βλάβες στον αμφιβληστροειδή μπορούν να συμβούν είτε με την έκθεση σε φωτεινή πηγή υψηλής ενέργειας για μικρό χρονικό διάστημα είτε με την έκθεση σε φωτεινή πηγή χαμηλότερης ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα φωτοχημικά όρια έκθεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του ρίσκου για φωτοχημική πάθηση του αμφιβληστροειδούς. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το μπλε φως είναι το ορατό φως στην περιοχή μικρού μήκους κύματος του φάσματος ορατού φωτισμού (380 nm-780 nm). Σε εργασιακούς χώρους η έκθεση σε μπλε φως μπορεί να προκύψει από την έκθεση σε διάφορες πηγές ακτινοβολίας όπως λαμπτήρες LED εσωτερικού φωτισμού και κυρίως από οθόνες υπολογιστών. Γενικότερα υπάρχει η τάση για αυξημένη οπτική δυσκολία κατά την διάρκεια χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών μεταξύ εργαζομένων με προ υπάρχουσες παθήσεις του ματιού δηλαδή εργαζομένων που χρειάζονται φακούς επαφής ή γυαλιά αλλά και εργαζομένων με ιατρικές παθήσεις όπως αλλεργίες, διαβήτη, καπνιστές, χορήγηση αντικαταθλιπτικών φαρμάκων [23,24,25,26,27]. Συνεπώς είναι δύσκολο να γίνει απεμπλοκή της κύριας πηγής ακτινοβολίας από τους προϋπάρχοντες παράγοντες υγείας όταν ο εργαζόμενος έχει εντοπίσει αρνητικές συνέπειες στην όραση του που πιθανώς μπορούν να συνδεθούν με την έκθεση του σε μπλε φως.

Οι επιπτώσεις του μπλε φωτός στον αμφιβληστροειδή εξαρτώνται από την διάρκεια έκθεσης, το μήκος κύματος, την ένταση της φωτεινής πηγής, και την επαναληψιμότητα του φαινομένου έκθεσης. Η μακράς διάρκειας χρήση υπολογιστών έχει συνδεθεί με προβλήματα στον ανθρώπινο οφθαλμό όπως πόνος, ενόχληση, κάψιμο, θολή και «διπλή» όραση [28,29]. Η AOA (American Optometric Association) χαρακτηρίζει το σύνδρομο θέασης υπολογιστών (CVS, computer vision syndrome) ως το σύνολο των προβλημάτων που σχετίζονται με το μάτι και την όραση εξαιτίας της μακροχρόνιας χρήσης υπολογιστών, tablet και κινητών [32]. Παρ' όλα αυτά, ο αριθμός των επιστημονικών δημοσιεύσεων που γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ του CVS και των αρνητικών επιπτώσεων από ακτινοβολία σε μπλε φως είναι μικρός [23,24,32]. Στο άρθρο της αναφοράς [24] υποστηρίζεται ότι «η χρήση υπολογιστών προκαλεί την έκθεση σε μπλε φως και μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του αμφιβληστροειδούς συντελώντας παράλληλα στην οπτική κούραση» ενώ οι Sheppard και Wolffsohn περιέγραψαν τις επιπτώσεις από την ακτινοβολία μπλε



φωτός που εκπέμπεται από ψηφιακές οθόνες και στις παρατηρήσεις τους επιστούν την προσοχή στους επαγγελματίες του χώρου υγείας και έρευνας να αναπτύξουν επιλογές θεραπείας [24]. Στο άρθρο της αναφοράς [33] μελετήθηκαν οι πραγματικές επιπτώσεις του μπλε φωτός από LCD συσκευές υπολογιστών καθώς χρησιμοποιήθηκαν τόσο υποκειμενικές μέθοδοι (ερωτηματολόγια) όσο και αντικειμενικές (Critical Flicker Frequency-CFF) και ανακάλυψαν ότι υψηλότερες εκπομπές μπλε φωτός προκαλούν μεγαλύτερη κούραση στα μάτια. Πρότειναν επίσης την χρησιμοποίηση φίλτρων αποκλεισμού του μπλε φωτός, την ενεργοποίηση της ρύθμισης «σέπια» της οθόνης καθώς και την μείωση της λαμπρότητας της οθόνης ενώ και στην μελέτη της αναφοράς [34] υπάρχει η προτροπή για χρήση χρωματικών φίλτρων, ειδικότερα αυτών που απορροφούν το μπλε χρώμα. Τέλος οι Hasanah et al. (2017) μελέτησαν την συχνότητα εμφάνισης του Computer Vision Syndrome σε χειριστές τερματικών οπτικής απεικόνισης (Visual Display Terminal Users) και ανακάλυψαν ότι απόσταση λιγότερη από 50 εκατοστά από την οθόνη, χρόνος διαλλειμάτων μικρότερος των 4 λεπτών και μη εργονομική θέση μπροστά από το τερματικό οπτικής απεικόνισης ήταν συνθήκες εργασίας άμεσα συνυφασμένες με την εμφάνιση του Computer Vision Syndrome με λόγους εμφάνισης (Odds Ratios, OR) 8.33, 7.28, 5 αντίστοιχα [35].



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΩΤΟΣ ΣΕ ΟΘΟΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



3. ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΩΤΟΣ ΣΕ ΟΘΟΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οθόνη ενός υπολογιστή (monitor) είναι μια συσκευή εξόδου η οποία αναπαράγει γραφική πληροφορία σε μορφή εικόνας. Αποτελείται συνήθως από το πάνελ της ίδιας της οθόνης, το περίβλημα του σώματος του υπολογιστή, ηλεκτρικά κυκλώματα στο οπίσθιο μέρος του πάνελ καθώς και από την παροχή ενέργειας. Τα πάνελ της οθόνης στα σύγχρονα monitors είναι κατά κύριο λόγο panels τεχνολογίας υγρών κρυστάλλων (LCD) ενώ η τεχνολογία LED είναι η επικρατέστερη ως μέθοδος οπίσθιου φωτισμού (backlight) έχοντας αντικαταστήσει την τεχνολογία CCFL. Παλαιότερα monitors χρησιμοποιούσαν στην κατασκευή των panels την τεχνολογία CRT ενώ κάποια άλλα την Plasma η οποία αποκαλείται και Gas-Plasma. Πλέον, η χρήση οθονών τεχνολογίας CRT έχει εξαλειφθεί μιας και η τεχνολογία LCD συμβάλει στην κατασκευή οθονών μικρότερου μεγέθους, λιγότερης κατανάλωσης ενέργειας και ποιοτικότερου οπτικού αποτελέσματος. Η πιο σύγχρονη τεχνολογία κατασκευής οθονών είναι η OLED (Organic Light Emmiting Diode) η οποία προσφέρει ακόμα καλύτερη ποιότητα εικόνας και χρώματος από την τεχνολογία LCD παρουσιάζοντας όμως παράλληλα μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση.

Οι οθόνες των υπολογιστών συνδέονται στον υπολογιστή μέσω καλωδίων VGA, Digital Visual Interface (DVI), HDMI, DisplayPort ή μέσω θυρών USB-C ή μέσω του τεχνικού προτύπου LVDS (Low Voltage Differential Signaling) ενώ η γραφική πληροφορία αναπαράγεται διαμέσου της σύνδεσης της οθόνης με την κάρτα βίντεο του υπολογιστή. Τέλος να σημειωθεί ότι οι οθόνες υπολογιστών θεωρούνται κατά κύριο λόγο συσκευές εξόδου μιας και αναπαράγουν την οπτική πληροφορία που τροφοδοτεί ως είσοδο στο σύστημα, ο υπολογιστής. Παρ' όλα αυτά, σύγχρονες οθόνες τεχνολογίας αφής έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν και ως είσοδοι στο σύστημα και ονομάζονται συσκευές εισόδου/εξόδου ή με την αγγλική ορολογία Input/Output (I/O) Devices.



3.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΟΘΟΝΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

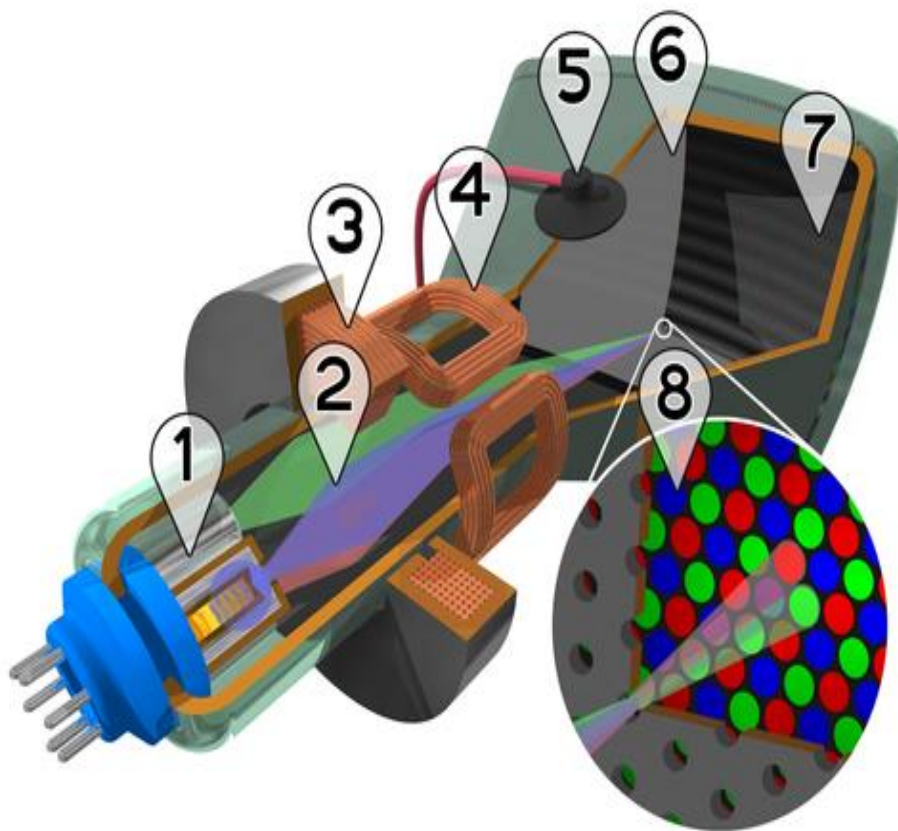
3.2.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ CRT

Οι οθόνες των πρώτων υπολογιστών της δεκαετίας του 1970 χρησιμοποιούσαν τεχνολογία CRT. Η αναπαραγωγή της εικόνας στην οθόνη ήταν μονοχρωματική και πολύ λιγότερο λεπτομερής από τις οθόνες σύγχρονων τεχνολογιών. Συνεπώς τα δεδομένα που αναπαράγονταν στην οθόνη έπρεπε να είναι μεγάλου μεγέθους και αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της ποσότητας της πληροφορίας που ήταν δυνατό να προβληθεί σε ένα «καρέ» της οθόνης. Οθόνες CRT υψηλής ανάλυσης αναπτύχθηκαν για ειδικευμένες στρατιωτικές και επιστημονικές εφαρμογές αλλά το κόστος τους ήταν απαγορευτικό για εφαρμογές γενικής χρήσης από το ευρύτερο μέρος του πληθυσμού. Στο τέλος της δεκαετίας του 1980, οθόνες τεχνολογίας CRT ήταν δυνατό να αναπαράγουν χρώμα και εικόνα σε ανάλυση 1024 x 768 pixels με το κόστος τους να έχει μειωθεί και την διαθεσιμότητα τους στο ευρύ κοινό να έχει αυξηθεί.

Μια οθόνη τεχνολογίας CRT αποτελούνται (σχήμα 3.2.1.1) από :

1. Τρεις εκπομπείς ηλεκτρονίων για τις κόκκινες, πράσινες και μπλε κουκίδες φωσφόρου
2. Δέσμες ηλεκτρονίων
3. Πηνία συγκέντρωση δέσμης ηλεκτρονίων (focusing coils)
4. Πηνία εκτροπής δέσμης ηλεκτρονίων (deflection coils)
5. Σύνδεση τελικής ανόδου (final anodes)
6. Μάσκα διαχωρισμού των δεσμών για το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε στοιχείο της εικόνας προς προβολή
7. Επίστρωση φωσφόρου οθόνης με κόκκινες, πράσινες και μπλε ζώνες

Να σημειωθεί ότι στο νούμερο 8 παρουσιάζεται σε μεγέθυνση το επιστρωμένο με φώσφορο εσωτερικό μέρος της οθόνης.



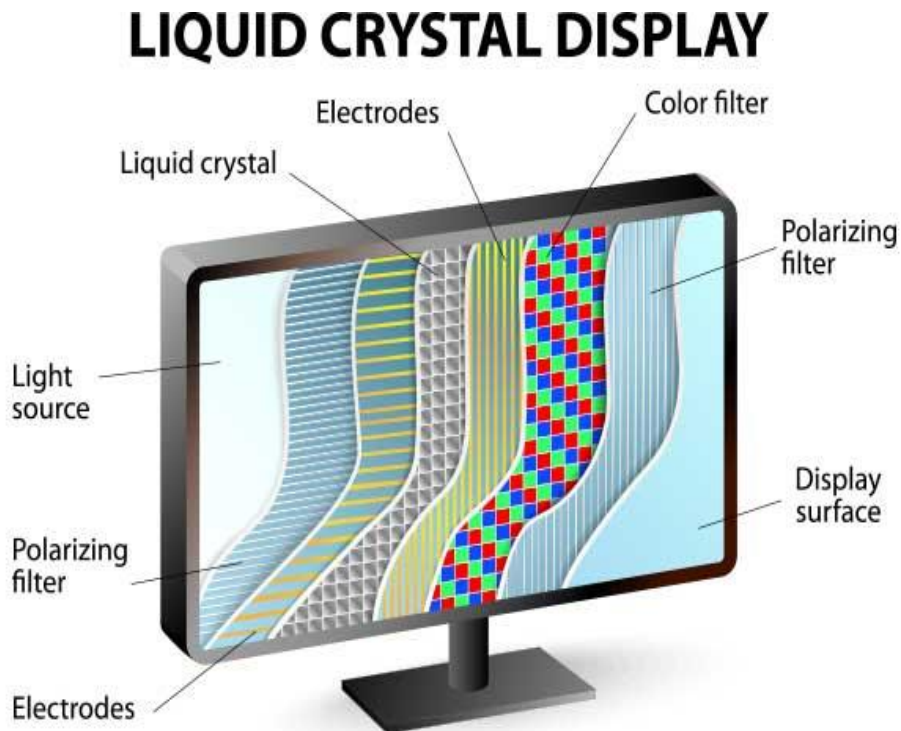
Σχήμα 3.2.1.1. Τομή χρωματικού CRT οθόνης

Συνοπτικά ο τρόπος λειτουργίας ενός CRT ξεκινούσε από την ηλεκτρική θέρμανση ενός πηνίου βολφραμίου το οποίο με την σειρά του θέρμαινε την καθοδική ακτίνα στο πίσω μέρος του CRT, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο την εκπομπή ηλεκτρονίων τα οποία διαμορφώνονταν και συγκεντρώνονταν από ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόνια άλλαζαν κατεύθυνση από τα πηνία εκτροπής και η άνοδος τα επιτάχυνε προς την επίστρωση φωσφόρου στο πίσω μέρος της οθόνης. Η παραγωγή φωτός από την οθόνη συνέβαινε όταν τα ηλεκτρόνια άγγιζαν την επίστρωση με τον φώσφορο [36,37].

Με το πέρασμα των χρόνων και φτάνοντας στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η τεχνολογία CRT ήταν η επικρατούσα, μιας και οι οθόνες αυτής της τεχνολογίας είχαν μικρότερο κόστος παραγωγής ενώ παράλληλα προσέφεραν γωνίες θέασης κοντά στις 180° [38].

3.2.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΓΡΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ (LCD)

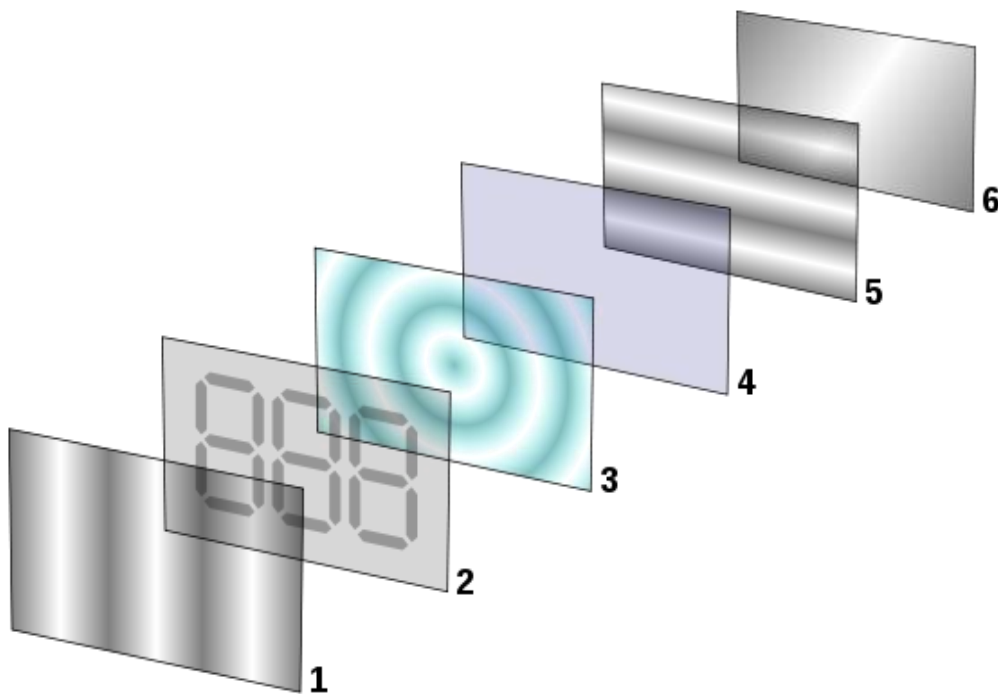
Οι οθόνες τεχνολογίας υγρών κρυστάλλων είναι οθόνες με επίπεδο panel (flat panel display) που χρησιμοποιούν τις φωτο-ρυθμιστικές ιδιότητες των υγρών κρυστάλλων σε συνδυασμό με πολωτές (polarizers). Οι υγροί κρύσταλλοι δεν εκπέμπουν φως άμεσα αλλά χρησιμοποιούν μονάδα οπίσθιου φωτισμού (backlight unit) για την αναπαραγωγή τόσο μονοχρωματικών όσο και χρωματισμένων εικόνων [39]. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την στιγμή που οι LCD οθόνες δεν χρησιμοποιούν φώσφορο, όπως οι οθόνες CRT, δεν εμφανίζουν το φαινόμενο της χρωματικής παραμόρφωσης (image burn in) όταν μια στατική εικόνα εμφανίζεται στην οθόνη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπλέον έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση και μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση από τις οθόνες CRT ενώ μπορούν να καταστραφούν με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον, πράγμα που δεν συνέβαινε με τις οθόνες προηγούμενης τεχνολογίας. Η ανακύκλωση των οθονών τεχνολογίας LCD είναι δυνατή αλλά η τεχνολογία ανακύκλωσης δεν είναι ακόμα διαδεδομένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη. Στα σχήματα της επόμενης σελίδας φαίνονται τα στοιχεία που συνθέτουν μια οθόνη υγρών κρυστάλλων και η τομή μιας οθόνης τέτοιας τεχνολογίας.



Σχήμα 3.2.2.1. Χαρακτηριστικά οθόνης υγρών κρυστάλλων

Μια οθόνη τεχνολογίας LCD αποτελείται (σχήμα 3.2.2.2) από :

1. Πλαστικό φίλτρο πόλωσης στον κάθετο άξονα με σκοπό την πόλωση του φωτός που εκέμπεται από την μονάδα οπίσθιου φωτισμού (back light unit)
2. Γυάλινο υπόστρωμα με ηλεκτρόδια
3. Ελικοειδής νηματικός υγρός κρύσταλλος (nematic liquid crystal)
4. Γυάλινο υπόστρωμα με συμβατικές ταινίες ηλεκτροδίων και οριζόντια κορυφογραμμή για να ευθυγραμμίζονται με τον οριζόντιο άξονα
5. Χρωματικό φίλτρο και φίλτρο πόλωσης
6. Επιφάνεια οθόνης για την αναπαραγωγή εικόνας στον χρήστη



Σχήμα 3.2.2.2. Τομή οθόνης υγρών κρυστάλλων



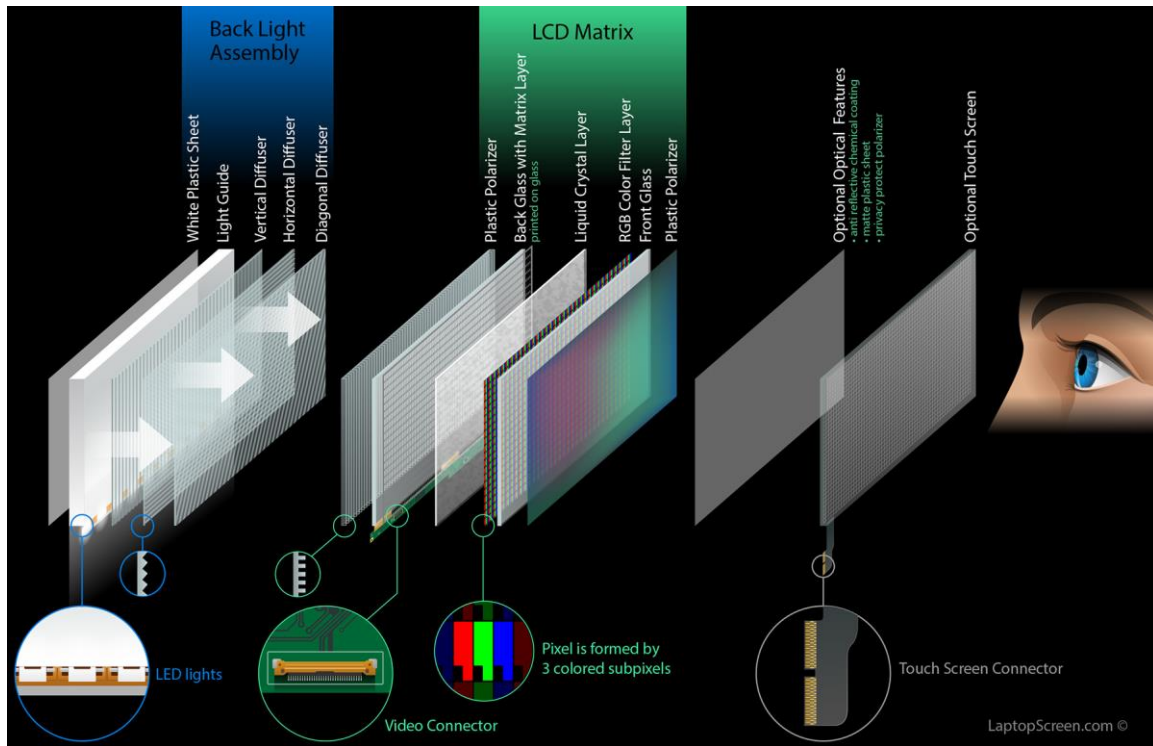
Όπως αναφέρθηκε, από την στιγμή που οι οθόνες LCD δεν παράγουν φως ως αυθύπαρκτες φωτεινές πηγές, απαιτούν μια εξωτερική πηγή φωτισμού για την αναπαραγωγή εικόνων [40].

Οι πιο κοινές εφαρμογές τεχνολογιών οπίσθιου φωτισμού είναι οι κάτωθι:

- **CCFL:** Το πάνελ της οθόνης φωτίζεται από δύο λαμπτήρες ccfl που τοποθετούνται στις δύο απέναντι πλευρές του πάνελ. Στη συνέχεια ένας ανακλαστήρας διάχυσης, διαχέει το φως ομοιόμορφα κατά μήκος του πάνελ της οθόνης. Για πολλά χρόνια αυτή η τεχνολογία ήταν η πιο διαδεδομένη. Στα μειονεκτήματά της εντοπίζουμε την χαμηλή ενεργειακής της απόδοση καθώς και το αυξημένο κόστος του αντιστροφέα που απαιτούνταν για την μετατροπή της τάσης DC που χρησιμοποιούσε η συσκευή για να φωτιστεί μονάδα οπίσθιου φωτισμού [41]. Τέλος, το πάχος του μετασχηματιστή του αντιστροφέα έθετε περιορισμούς στο μέγιστο δυνατό πάχος που θα μπορούσε να έχει η οθόνη.
- **EL-WLED:** Το πάνελ της οθόνης φωτίζεται από μια συστοιχία λευκών LED τα οποία τοποθετούνται σε μία ή περισσότερες άκρες του πάνελ. Ένας ανακλαστήρας διάχυσης χρησιμοποιείται για την ομοιόμορφη διάδοση του φωτός κατά μήκος του πάνελ, παρόμοια με τον τρόπο που αναφέρθηκε στην προηγούμενη τεχνολογία. Ο ανακλαστήρας κατασκευάζεται συνήθως από ειδικό γυαλί που με την θερμότητα ή την αύξηση της υγρασίας δεν αλλάζει μέγεθος, κάτι που επιτρέπει την ακόμα πιο λεπτή εμφάνιση της οθόνης (περίπου 5mm πάχος). Με τον έλεγχο του εύρους παλμού (PWM, pulse width modulation) η ένταση των LEDs παραμένει σταθερή ενώ παράλληλα η μεταβολή της φωτεινότητας της οθόνης επιτυγχάνεται με την μεταβολή των χρονικών διαστημάτων που ακτινοβολούν αυτές οι φωτεινές πηγές σταθερής έντασης [42].
- **WLED:** Το πάνελ της οθόνης φωτίζεται από μια συστοιχία λευκών LED τα οποία τοποθετούνται πίσω από τον ανακλαστήρα διάχυσης. Οι οθόνες που κάνουν χρήση αυτής της τεχνολογίας έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουν την ένταση (dimming) των LEDs και να την ρυθμίσουν στο επίπεδο έντασης του φωτεινότερου χρώματος που εμφανίζεται στην οθόνη ή ακόμα και να τα απενεργοποιήσουν στα σκοτεινότερα σημεία της εικόνας που αναπαράγει. Ως εκ τούτου η αντίθεση της οθόνης, ο λόγος αντίθεσης (contrast ratio) που αντιλαμβάνεται ο χρήστης και το δυναμικό εύρος (dynamic range) της οθόνης αυξάνονται με ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.
- **RGB LED:** Η λειτουργία της τεχνολογίας RGB LED είναι παρόμοια με αυτή των WLED μόνο που αντί για λευκά LED, το πάνελ της οθόνης φωτίζεται από συστοιχία LEDs κόκκινου πράσινου και μπλε χρώματος. Το πλεονέκτημα αυτής της εφαρμογής είναι ότι

προσφέρει πολύ μεγαλύτερο εύρος απεικόνισης χρωμάτων στον χρήστη (wide color gamuts)

Μια αναλυτικότερη σχηματική παρουσίαση των σύγχρονων οθονών τεχνολογίας LCD παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2.2.3.



Σχήμα 3.2.2.3. Ανατομία σύγχρονης οθόνης τεχνολογίας LCD με LED backlight unit

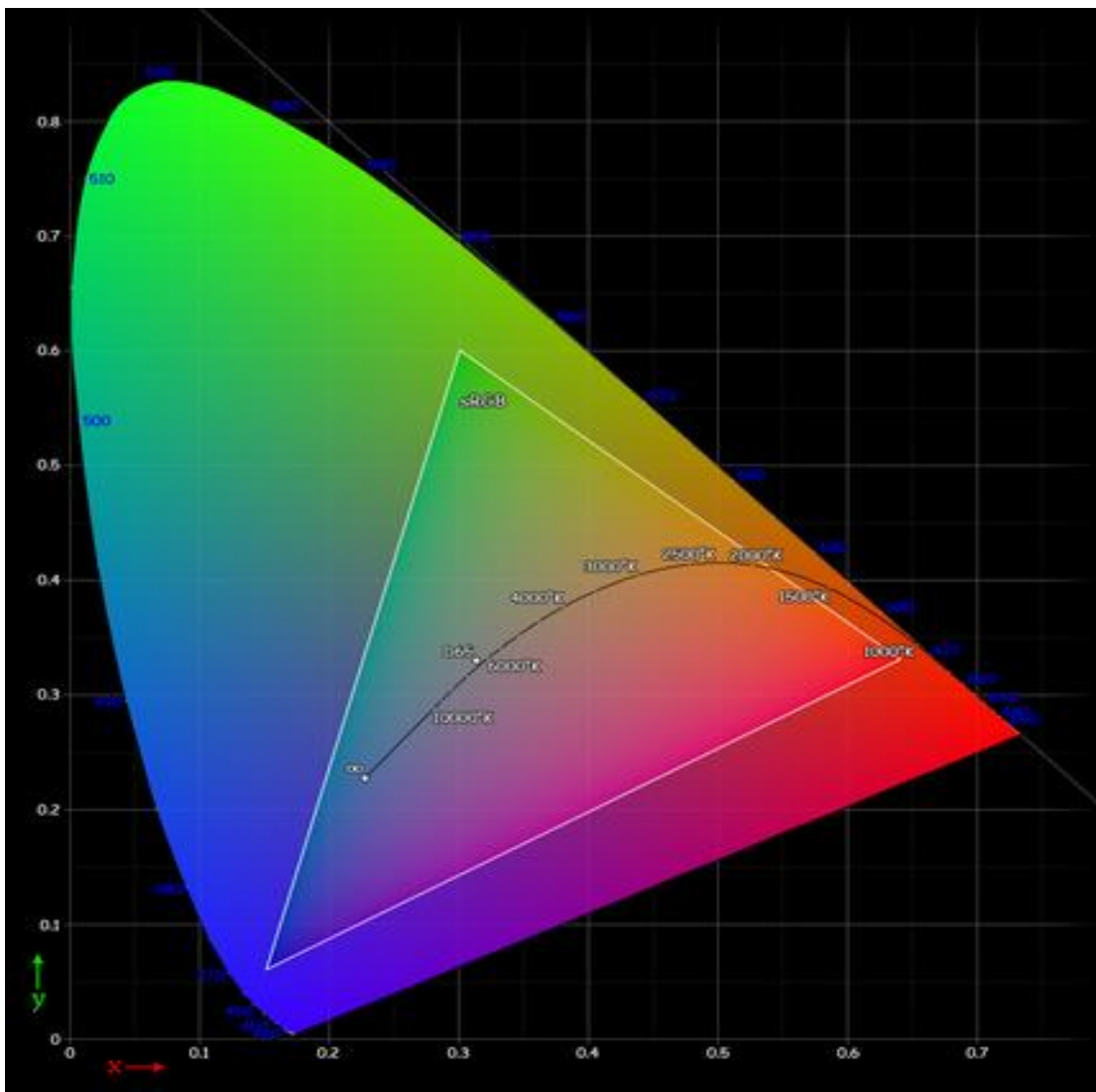
3.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΟΘΟΝΩΝ

Η απόδοση της οθόνης ενός υπολογιστή μπορεί να μετρηθεί και να αξιολογηθεί με βάσει τις κάτωθι παραμέτρους:

- **Λαμπρότητα (Luminance)**, η οποία μετριέται σε καντέλες ανά τετραγωνικό μέτρο (cd/m^2) ή αλλιώς Nits



- **Βάθος Χρώματος (Color Depth)**, το οποίο μετριέται σε bits ανά βασικό χρώμα ή bpc (bits per channel). Οι υπολογιστές με βάθος χρώματος μεγαλύτερο από 10 bpc έχουν την δυνατότητα να αναπαράγουν περισσότερες από 1 δισεκατομμύριο αποχρώσεις χρωμάτων με μεγάλη ακρίβεια σε αντίθεση με τις παραδοσιακές οθόνες 8 bpc οι οποίες φτάνουν στα 16.8 εκατομμύρια αποχρώσεις
- **Χρωματικό Εύρος (Color Gamut)** το οποίο μετριέται ως συντεταγμένες του χώρου χρώματος CIE 1931. Κάθε οθόνη RGB έχει το δικό της εύρος χρωμάτων το οποίο είναι χρωματικά δεσμευμένο από ένα χρωματικό τρίγωνο. Κάποια από αυτά τα τρίγωνα είναι μικρότερα από τα τρίγωνα sRGB ενώ κάποια άλλα μεγαλύτερα. Τα χρώματα συνήθως κωδικοποιούνται σε 8bits ανά βασικό χρώμα ενώ η τιμή RGB [255,0,0] που αντιπροσωπεύει το κόκκινο χρώμα ενδέχεται να δείχνει άλλο χρώμα σε διαφορετικούς χώρους χρώματος όπως το sRGB ή Adobe RGB. Βασική προϋπόθεση για την σωστή αναπαραγωγή των χρωμάτων με την συνθήκη ότι έχει πραγματοποιηθεί καλιμπράρισμα της οθόνης, είναι το εύρος χρωμάτων που παρουσιάζει η οθόνη να είναι μεγαλύτερο από το εύρος του χώρου χρωμάτων της εικόνας που αναπαράγεται από την οθόνη ή με άλλα λόγια, μια εικόνα η οποία χρησιμοποιεί χρώματα εκτός του sRGB χώρου χρωμάτων, θα αναπαραχθεί σε μια οθόνη που αποτελείται από τον ίδιο χώρο χρώματος sRGB, με περιορισμούς [43].



Σχήμα 3.3. Χρωματικό διάγραμμα του χρωματικού χώρου CIE 1931 που συγκρίνει το ορατό εύρος χρωμάτων με το sRGB και την θερμοκρασία χρώματος.

- **Λόγος Διαστάσεων (Aspect Ratio)** είναι ο λόγος του οριζόντιου μήκους της οθόνης προς το κάθετο μήκος της οθόνης. Τυπικές τιμές που λαμβάνει ο λόγος διαστάσεων είναι 4:3, 5:4, 16:10 ή 16:9.
- **Ανάλυση Οθόνης (Display Resolution)** είναι ο αριθμός των διακριτών pixel που είναι δυνατόν να αναπαραχθεί σε κάθε διάσταση της οθόνης.



- **Ποκνότητα Pixel (Pixel Density)** η οποία μετριέται σε pixels ανά ίντσα (pixels per inch ή ppi) είναι ένας παράγοντας μέτρησης του πόσο πυκνά δομημένα είναι τα pixels μια οθόνης. Στις οθόνες τεχνολογίας LCD η πυκνότητα των pixel είναι ο αριθμός των pixel σε μια γραμμική μονάδα κατά μήκος της οθόνης.
- **Ρυθμός Ανανέωσης (Refresh Rate)** στις οθόνες τεχνολογίας LCD είναι ο αριθμός των φορών που είναι δυνατόν να αλλάξει μια εικόνα μέσα σε ένα δευτερόλεπτο και εκφράζεται συνήθως σε hertz (Hz) . Ο μέγιστος ρυθμός ανανέωσης περιορίζεται από τον χρόνο απόκρισης και χαρακτηρίζει τον μέγιστο αριθμό των καρτέ ανά δευτερόλεπτο (frames per second) που δύναται να αναπαράγει η οθόνη.
- **Χρόνος Απόκρισης (Response Time)** είναι ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου ένα pixel σε μια οθόνη να αλλάξει μεταξύ δύο αποχρώσεων. Μικρότερος χρόνος απόκρισης σημαίνει γρηγορότερες αλλαγές και κατ' επέκταση λιγότερα σφάλματα εικόνας (image artifacts)
- **Καθυστέρηση Εισόδου (Input Latency)** η οποία μετριέται σε millisecond και αποτελεί τον χρόνο που απαιτείται προκειμένου η οθόνη να αναπαράγει την εικόνα που μόλις έχει λάβει σήμα προς αναπαραγωγή.
- **Λόγος Αντίθεσης (Contrast Ratio)** είναι ο λόγος της φωτεινότητας του πιο φωτεινού χρώματος (λευκού) προς την φωτεινότητα του πιο σκοτεινού χρώματος που είναι δυνατόν να αναπαραχθεί από την οθόνη ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, ένας λόγος 20.000:1 δηλώνει ότι η φωτεινότερη απόχρωση (λευκό) είναι 20.000 φορές πιο φωτεινή από την σκοτεινότερη απόχρωση (μαύρο). Ο δυναμικός λόγος αντίθεσης στις οθόνες τεχνολογίας LCD μετριέται όταν η μονάδα οπίσθιου φωτισμού (back light unit) είναι απενεργοποιημένη.
- **Κατανάλωση ενέργειας (Power Consumption)** μετριέται σε Watts
- **Χρωματική ακρίβεια (Color Accuracy)** μετριέται σε ΔΕ (delta- E) και όσο πιο χαμηλή είναι η τιμή του τόσο πιο ακριβής είναι η αναπαραγωγή των χρωμάτων. Μια τιμή του ΔΕ κάτω από την μονάδα είναι αδύνατο να εντοπιστεί από το ανθρώπινο μάτι ενώ τιμές του ΔΕ μεταξύ 2 και 4 θεωρούνται καλές αλλά απαιτούν ένα αρκετά ικανό και ευαίσθητο μάτι προκειμένου να εντοπιστεί διαφορά.
- **Γωνία Θέασης (Viewing Angle)** είναι η μέγιστη γωνία στην οποία οι εικόνες που αναπαράγονται από την οθόνη μπορούν να γίνουν αντιληπτές δίχως να υποβαθμίζεται εμφανώς το περιεχόμενο αναπαραγωγής. Μετριέται σε μοίρες τόσο οριζόντια όσο και κάθετα



- **Ακτίνα κυρτότητας (Radius of curvature)** αφορά κυρτές οθόνες και είναι ουσιαστικά η ακτίνα που θα είχε ένας κύκλος αν παρουσίαζε την ίδια κυρτότητα με την οθόνη. Η τιμή δίνεται συνήθως σε mm αλλά εκφράζεται με το γράμμα “R” έναντι της μονάδας μέτρησης. Για παράδειγμα μια οθόνη με κυρτότητα “3800R” έχει ακτίνα κυρτότητας ίση με 3800 mm.

3.4. ΤΥΠΟΙ ΠΑΝΕΛ ΟΘΟΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ

Οι περισσότεροι άνθρωποι είναι εξοικειωμένοι με το γεγονός ότι οι οθόνες σύγχρονων τεχνολογιών απεικόνισης είναι δυνατό να παρουσιάζουν διαφορετικές αναλύσεις, διαφορετικά μεγέθη και διαφορετικές συχνότητες ανανέωσης (refresh rates). Το εύρος των τεχνολογιών των οθονών και η ποικιλία των χαρακτηριστικών τους πολλές φορές δυσχεραίνει την διαδικασία επιλογής τους από τον χρήστη. Συνεπώς, οφείλουμε να αναφέρουμε ένα χαρακτηριστικό LCD Monitor το οποίο καθορίζει αφενός την απόδοση του και αφετέρου σε ποιες λειτουργίες παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ο τύπος του πάνελ της οθόνης ο οποίος επηρεάζει αρκετά χαρακτηριστικά απόδοσης της οθόνης όπως ο χρόνος απόκρισης, η καθυστέρηση εισόδου, η γωνία θέασης, η χρωματική ακρίβεια και ο λόγος αντίθεσης. Διαφορετικές τεχνολογίες panel προσφέρουν διαφορετικές λειτουργίες και παρ’ όλο που υπάρχουν αρκετές υπό-κατηγορίες, όλες οι οθόνες σύγχρονης τεχνολογίας υγρών κρυστάλλων μπορούν να ενταχθούν σε κάποιον από τους κάτωθι τύπους panel με διακριτά χαρακτηριστικά απόδοσης.

- TN (Twisted Nematic) Panels
- VA (Vertical Alignment) Panels
- IPS (In-Plane Switching) Panels

Οι ονομασίες των panels σχετίζονται με την ευθυγράμμιση των μορίων εντός του υγρού κρυσταλλού και πως αυτή επηρεάζεται υπό την εφαρμογή τάσης. Όλες οι οθόνες τεχνολογίας LCD μεταβάλλουν την ευθυγράμμιση των μορίων προκειμένου να αναπαράγουν εικόνα αλλά ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτή η μεταβολή επηρεάζει δραστικά την αναπαραγωγή της εικόνας και τον χρόνο απόκρισης. Κάθε τύπος panel παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η τελική επιλογή του τύπου ανάγεται στο χρήστη και στις λειτουργίες που επιθυμεί να επιτελεί η οθόνη του.



3.4.1. TN (TWISTED NEMATIC) PANELS

Τα TN panels ήταν τα πρώτα panels που διατέθηκαν στην μαζική παραγωγή επίπεδων οθονών. Συνέβαλλαν στην σταδιακή εξαφάνιση της τεχνολογίας CRT ενώ μέχρι και σήμερα παράγονται σε μεγάλες ποσότητες παρουσιάζοντας όμως σημαντικά μειονεκτήματα. Το πρώτο από αυτά αποτελεί η δυνατότητα για περιορισμένες γωνίες θέασης ειδικότερα στον κατακόρυφο άξονα στον οποίο προσφέρουν 160° σε αντίθεση με τις 178° που αποτελούν τις μέγιστες δυνατές μοίρες, ενώ συχνά έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο της αναστροφής των χρωμάτων όταν ο χρήστης παρακολουθεί από ακραίες γωνίες θέασης. Επιπλέον, η χρωματική ακρίβεια και η αναπαραγωγή χρώματος είναι μειωμένες καθώς τα περισσότερα TN panels δεν έχουν την δυνατότητα αναπαραγωγής πραγματικού χρώματος βάθους 24bit αλλά αντί αυτού μπορούν μόνο να εφαρμόσουν παρεμβολή (interpolation) για να προσομοιώσουν τις ορθές χρωματικές αποχρώσεις. Κάτι τέτοιο έχει ως συνέπεια την εμφανώς λανθασμένη απεικόνιση χρώματος (color banding) και την δραματικά μειωμένη τιμή του λόγου αντίθεσης (contrast ratio) εν συγκρίσει με τους τύπους VA ή IPS. Το εύρος χρώματος επίσης είναι προβληματικό καθώς δεν έχουν την δυνατότητα αναπαράστασης ολόκληρου του χρωματικού χώρου sRGB καθιστώντας αυτόν τον τύπο panel ακατάλληλο για εργασίες που απαιτούν υψηλή χρωματική ακρίβεια. Στα πλεονεκτήματα τους αναγνωρίζεται το χαμηλό κόστος παραγωγής τους, και η χαμηλή χρονική καθυστέρηση εισόδου (input latency περίπου 1 ms). Προτείνονται σε χρήστες όπου η εργασία τους δεν απαιτεί ευρείες γωνίες θέασης και η ακριβής αναπαραγωγή χρώματος δεν είναι πρωταρχικός στόχος.

3.4.2. IPS (IN-PLANE SWITCHING) PANELS

Η τεχνολογία IPS δημιουργήθηκε για την αντιμετώπιση των περιορισμών που έθετε η τεχνολογία TN σχετικά με την αναπαραγωγή χρώματος και τις γωνίες θέασης και ως εκ τούτου σε αυτούς τους τομείς παρουσιάζουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία IPS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες γωνίες θέασης στον χρήστη χωρίς χρωματική παραμόρφωση της εικόνας ενώ ταυτόχρονα η απεικόνιση του μαύρου χρώματος είναι υψηλής ποιότητας. Επιπλέον υποστηρίζουν μέτριους έως υψηλούς ρυθμούς ανανέωσης οι οποίοι φτάνουν μέχρι και τα 144 Hz ενώ ο χρόνος απόκρισης τους αγγίζει τα 4 ms, για τις απλές εκδόσεις των panels με τις πιο σύγχρονες και εξελιγμένες να μειώνουν τον χρόνο στο 1 ms. Έχουν επίσης την δυνατότητα υποστήριξης του επαγγελματικού χρωματικού χώρου sRGB καθώς παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος χρωμάτων και υψηλότερη χρωματική ακρίβεια από τα TN panels. Ένα τελευταίο



χαρακτηριστικό των IPS panels που αξίζει να αναφέρουμε είναι η υψηλή ένταση φωτισμού της μονάδας οπίσθιου φωτισμού (backlight unit) η οποία είναι εμφανής όταν ο χρήστης κοιτάζει την οθόνη από την πλάγια πλευρά της. Αυτό το φαινόμενο έχει ονομαστεί ως “IPS glow”.

3.4.3. VA (VERTICAL ALIGNMENT) PANELS

Τα VA panels αποτελούν ένα είδος συμβιβασμού μεταξύ των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών που παρουσιάζουν οι δύο προαναφερόμενες τεχνολογίες. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές στους λόγους αντίθεσης φτάνοντας και 3000:1 ή ακόμα και 6000:1 την στιγμή που ένα τυπικό IPS panel έχει λόγο αντίθεσης 1000:1. Σχετικά με τις γωνίες θέασης και ενώ δεν εμφανίζουν το φαινόμενο IPS glow, η απόδοση τους είναι χαμηλότερη μιας και η φωτεινότητα της οθόνης μεταβάλλεται αρκετά, ανάλογα με την γωνία θέασης. Επιπλέον, έχουν μεγαλύτερους χρόνους απόκρισης από τα TN και τα IPS panels ενώ τυπικά υποστηρίζουν ρυθμούς ανανέωσης 240 Hz. Εν συγκρίσει με τα TN, προσφέρουν μεγάλη χρωματική ακρίβεια και ευρύ φάσμα χρωμάτων ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζουν την αναπαραγωγή επαγγελματικών χρωματικών χώρων όπως ο sRGB και είναι κατάλληλα για εργασίες που απαιτούν υψηλή χρωματική ακρίβεια.

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3.1) συνοψίζονται και συγκρίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων panels οθονών υγρών κρυστάλλων [44].

Πίνακας 3.1

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	TN PANEL	VA PANEL	IPS PANEL
ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	ΓΡΗΓΟΡΟΣ	ΑΡΓΟΣ	ΜΕΤΡΙΟΣ
ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ	ΥΨΗΛΟΣ (240Hz)	ΧΑΜΗΛΟΣ (60-75 Hz)	ΜΕΤΡΙΟΣ (60-144Hz)
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ
ΤΙΜΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός της πειραματικής διαδικασίας βασίστηκε στην ανάγκη να μελετήσουμε την χρωματική συμπεριφορά των οθονών προκειμένου να κατανοήσουμε με ποιον τρόπο αναπαράγουν εικόνες και κατ' επέκταση με ποιον τρόπο εκπέμπουν ακτινοβολία μπλε φωτός στον χρήστη της οθόνης, από ποιες παραμέτρους επηρεάζεται αυτή η ακτινοβολία και με ποιους τρόπους είναι δυνατό να επιτευχθεί ο περιορισμός αυτής της ακτινοβολίας. Βρεθήκαμε αντιμέτωποι με το πρόβλημα του σχεδιασμού και της υλοποίησης μιας πειραματικής διαδικασίας, τα αποτελέσματα της οποίας θα βοηθούσαν στην μοντελοποίηση της ακτινοβολίας μπλε φωτός από τις οθόνες των υπολογιστών προς τον χρήστη. Μελετώντας την υπάρχουσα βιβλιογραφία καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το πρώτο βήμα για την διαδικασία θα αποτελούσε η δημιουργία χρωματικών patches δηλαδή εικόνων που θα απεικόνιζαν τις διάφορες αποχρώσεις του κόκκινου, μπλε και πράσινου χρώματος δηλαδή των βασικών χρωμάτων μέσω της μίξης των οποίων γίνεται η αναπαράσταση όλων των χρωμάτων σε μία οθόνη.

Στη συνέχεια, με βάσει οδηγίες εργονομικού σχεδιασμού στους χώρους εργασίας ήταν απαραίτητο να κατασκευάσουμε την θέση ενός τυπικού παρατηρητή της οθόνης, η θέση του οποίου θα διαδραμάτιζε σημαντικό ρόλο στην τοπολογία της πειραματικής διαδικασίας και στα αποτελέσματα αυτής. Επιπλέον ήταν απαραίτητο να σκεφτούμε με αντίστροφο τρόπο, ξεκινώντας δηλαδή από τα ζητούμενα αποτελέσματα της έρευνας προκειμένου να διαμορφώσουμε τις αρχικές συνθήκες και καταστάσεις μέτρησης. Με αυτόν τον τρόπο καταλήξαμε στην σκέψη ότι οι μετρήσεις των χρωματικών patches θα πρέπει να γίνουν τόσο για οθόνες χωρίς την εφαρμογή οποιουδήποτε χρωματικού φίλτρου όσο και για τις ίδιες οθόνες υπό το φίλτρο «νυχτερινού φωτισμού» το οποίο θεωρητικά μειώνει την ακτινοβολία μπλε φωτός, και πρακτικά εφαρμόζεται σε υπολογιστές με λειτουργικό σύστημα Windows 10. Επομένως εμφανίστηκε η ανάγκη για την ανεύρεση ηλεκτρονικών υπολογιστών που χρησιμοποιούσαν το άνωθεν λειτουργικό σύστημα και παρουσίαζαν την δυνατότητα εφαρμογής αυτού του χρωματικού φίλτρου στην οθόνη τους.

Τέλος αξίζει να τονιστεί ότι η επιχειρούμενη μοντελοποίηση της ακτινοβολίας μπλε φωτός αποτελεί μια καινοτομία σε σχέση με τις μοντελοποιήσεις και υλοποιήσεις της υπάρχουσας



επιστημονικής βιβλιογραφίας μιας και οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα αυτής αφορούσαν μετρήσεις που έγιναν σε οθόνες που παρουσίαζαν απλώς ένα λευκό φόντο. Βασικός μας στόχος ήταν η μελέτη ρεαλιστικών καταστάσεων χρήσης σε έναν εργασιακό χώρο μιας και είναι απίθανο ο εργαζόμενος να βλέπει μια λευκή εικόνα στον υπολογιστή του κατά την διάρκεια της εργασίας του. Επομένως βρεθήκαμε αντιμέτωποι με το εξής πρόβλημα:

«Πως είναι δυνατόν μέσα από εργαστηριακές μετρήσεις των βασικών χρωμάτων να καταφέρουμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την ακτινοβολία μπλε φωτός της οθόνης όταν η οθόνη αναπαράγει τυπικά προγράμματα εργασίας και όχι απλά ένα λευκό φόντο»

4.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

4.2.1. ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ PATCHES

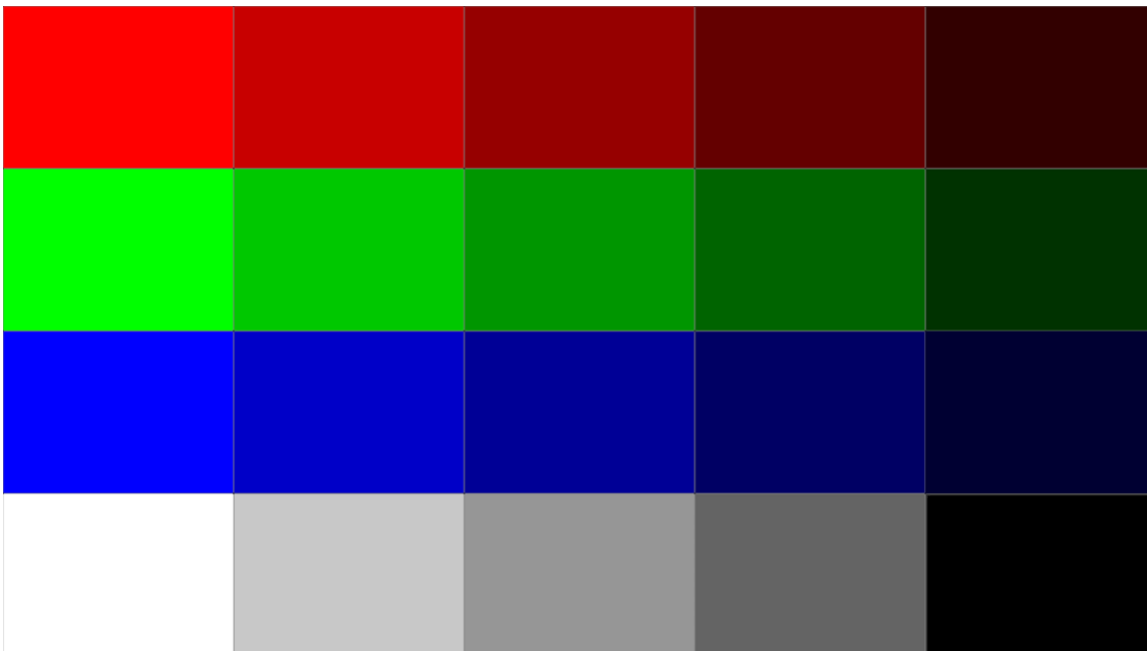
Το χρωματικό μοντέλο RGB είναι ένα προσθετικό χρωματικό μοντέλο στο οποίο το κόκκινο, πράσινο και μπλε φως προστίθεται κατά διάφορους τρόπους προκειμένου να αναπαράγουν ένα μεγάλο εύρος χρωμάτων [45]. Η ονομασία του μοντέλου προέρχεται από τα αρχικά των τριών βασικών χρωμάτων Red (κόκκινο), Green (Πράσινο), Blue (Μπλε). Ο σκοπός αυτού του χρωματικού μοντέλου είναι η αναπαραγωγή και η απεικόνιση εικόνων σε ηλεκτρονικά συστήματα όπως οι οθόνες τηλεόρασης και υπολογιστών ενώ εφαρμογή βρίσκει και στην τέχνη της φωτογραφίας. Το μοντέλο αυτό εξαρτάται από την συσκευή η οποία αναπαράγει εικόνα με βάση αυτό, πράγμα που σημαίνει ότι διαφορετικές συσκευές απεικόνισης εικόνας εντοπίζουν και αναπαράγουν μια συγκεκριμένη τιμή RGB με διαφορετικό τρόπο μιας και τα χρωματικά χαρακτηριστικά όπως ο φώσφορος, ανταποκρίνονται διαφορετικά στις τιμές R,G,B τόσο από συσκευή και συσκευή ή ακόμα και στην ίδια συσκευή με το πέρασμα του χρόνου. Συνεπώς η ίδια τιμή RGB δεν χαρακτηρίζει το ίδιο χρώμα μεταξύ διαφορετικών οθονών χωρίς την εφαρμογή κάποιου είδους διαχείρισης χρώματος (color management). Για την δημιουργία χρώματος με το χρωματικό μοντέλο RGB, γίνεται υπέρθεση τριών δεσμών φωτός δηλαδή δεσμών χρώματος κόκκινου, πράσινου και μπλε. Κάθε μία από αυτές τις δέσμες αποτελεί το δομικό συστατικό του χρώματος και μπορεί να έχει τυχαία ένταση ανάλογα την περιεκτικότητα του χρωματικού μείγματος στο συγκεκριμένο βασικό χρώμα. Το χρωματικό μοντέλο RGB είναι προσθετικό με την έννοια ότι οι τρεις δέσμες φωτός προστίθεται όπως προστίθεται και το φάσμα τους ανά κάθε νανόμετρο προκειμένου να προκύψει το φάσμα του τελικού χρώματος [46].



Αξίζει να τονιστεί ότι το χρωματικό μοντέλο RGB δεν καθορίζει χρωματομετρικά με απόλυτο τρόπο την έννοια του κόκκινου, πράσινου και μπλε χρώματος οπότε το αποτέλεσμα του μείγματος αυτών των χρωμάτων δεν είναι απόλυτο (absolute) αλλά σχετικό (relative) με τα τρία βασικά χρώματα.

Στο πείραμα μας ξεκινήσαμε με την δημιουργία χρωματικών patches τα οποία κατασκευάσαμε στην εφαρμογή Ζωγραφικής των Windows και τα οποία απεικόνιζαν διάφορες αποχρώσεις των τριών βασικών χρωμάτων καθώς και αποχρώσεις του λευκού χρώματος φτάνοντας μέχρι και το απόλυτο μαύρο. Το καθαρό κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύεται από το RGB Color [255,0,0], το καθαρό πράσινο από το [0,255,0] ενώ το καθαρό μπλε από το [0,0,255]. Αυτά ήταν τα τρία patches καθαρού χρώματος από τα οποία προέκυψαν οι αποχρώσεις των υπολοίπων patches (εικόνα 4.2.1) Έχουμε λοιπόν τα κάτωθι (από τα αριστερά προς τα δεξιά στην εικόνα 4.2.1):

- Patch 1: [255,0,0]
- Patch 2: [200,0,0]
- Patch 3: [150,0,0]
- Patch 4: [100,0,0]
- Patch 5: [50,0,0]
- Patch 6: [0,255,0]
- Patch 7: [0,200,0]
- Patch 8: [0,150,0]
- Patch 9: [0,100,0]
- Patch 10: [0,50,0]
- Patch 11: [0,0,255]
- Patch 12: [0,0,200]
- Patch 13: [0,0,150]
- Patch 14: [0,0,100]
- Patch 15: [0,0,50]
- Patch 16: [255,255,255]
- Patch 17: [150,150,150]
- Patch 18: [100,100,100]
- Patch 19: [50,50,50]
- Patch 20: [0,0,0]



Εικόνα 4.2.1. Χρωματικά Patches και αποχρώσεις βασικών χρωμάτων

4.2.2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΘΟΝΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Οι τέσσερις υπολογιστές που ευρέθηκαν προς μέτρηση ήταν φορητοί υπολογιστές διαφορετικών κατασκευαστών, διαφορετικής χρονολογίας μοντέλου και με διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης των οθονών τους. Όλοι είχαν εγκατεστημένο το λειτουργικό σύστημα Windows 10, με την δυνατότητα εφαρμογής του νυχτερινού φίλτρου ενώ παράλληλα κάθε ένας από τους τέσσερις υπολογιστές που επιλέχθηκε, ικανοποιούσε το κριτήριο της σύγχρονης τεχνολογίας του panel της οθόνης μιας και τα αποτελέσματα της χρωματομετρικής ανάλυσης και της μελέτης εκπομπής μπλε φωτός καθίστανται πιο ενδιαφέροντα από την στιγμή που αφορούν σύγχρονες οθόνες που χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των ανθρώπων σήμερα. Συνεπώς δεν έγινε αναζήτηση οθονών παλαιάς τεχνολογίας που αφενός δεν υποστηρίζουν την λειτουργία νυχτερινού φωτισμού και αφετέρου δεν μας επιτρέπουν να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση των πιο πρόσφατων τεχνολογιών. Οι φορητοί υπολογιστές που μετρήθηκαν είναι:



1. MSI GL659SD χρονολογίας μοντέλου 2020
2. DELL INSPIRON 5547 χρονολογίας μοντέλου 2014
3. ASUS X550CL χρονολογίας μοντέλου 2013
4. LENOVO Y580 χρονολογίας μοντέλου 2012

Τα χαρακτηριστικά των φορητών υπολογιστών που μετρήθηκαν αναγράφονται στον πίνακα 4.2

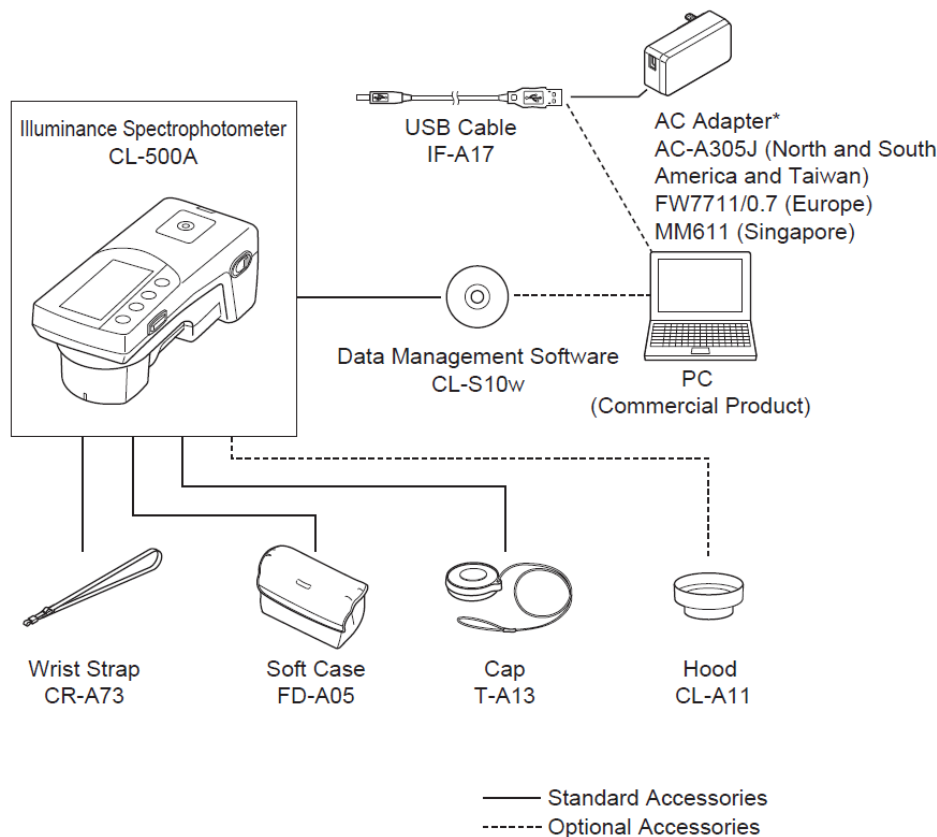
Πίνακας 4.2

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΘΟΝΩΝ	MSI GL65 9SD	ASUS X550 CL	LENOVO Y580	DELL INSPIRON 5547
ΟΘΟΝΗ ΕΥΡΕΙΑΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
LCD ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΟΠΙΣΘΙΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	LED	LED	LED	LED
ΑΝΑΛΥΣΗ (PIXELS)	1920 X 1080	1366 X 768	1366 X 768	1366 X 768
ΛΟΓΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	16:9	16:9	16:9	16:9
ΒΑΘΟΣ	32	32	32	32
ΧΡΩΜΑΤΟΣ(BITS/PIXEL)				
ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ (CM)	39,6	39,6	39,6	39,6
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	Full HD	HD	HD	HD
ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ (HZ)	120	50	60	60
ΓΩΝΙΕΣ ΘΕΑΣΗΣ(°)	0-160	0-60	0-120	0-135
ΤΥΠΟΣ PANEL	IPS	IPS	TN	IPS
ΛΟΓΟΣ ΑΝΤΙΘΕΣΗΣ	1387:1	407:1	535:1	764:1
ΚΑΛΥΨΗ ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ SRGB(%)	97,54	55,1	85,49	57,83

4.2.3. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

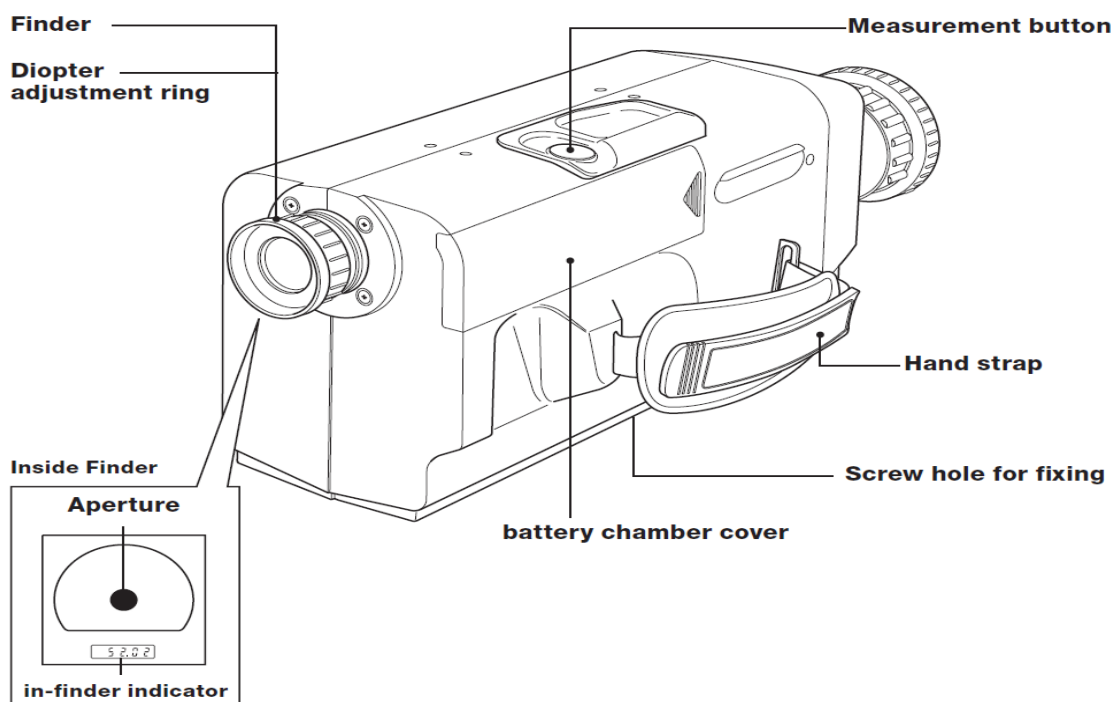
Για την διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν 2 όργανα, το φασματοφωτόμετρο KONICA MINOLTA CL500A και το όργανο μέτρησης λαμπρότητας και χρώματος KONICA MINOLTA CS200 για την μέτρηση φάσματος και λαμπρότητας των χρωματικών patches αντιστοίχως.

Στο φασματοφωτόμετρο, πριν την διαδικασία μέτρησης φροντίσαμε για τον καθαρισμό του φακού και του αισθητήρα του οργάνου δεδομένου ότι οι μετρήσεις έγιναν σχεδόν εξ' επαφής από την επιφάνεια της οθόνης ενώ ταυτόχρονα εφαρμόσαμε και καλιμπράρισμα μέτρησης. Επιπλέον ενεργοποιήσαμε από το menu επιλογών του οργάνου την επιλογή Average Measurement προκειμένου να μην λάβουμε μεμονωμένες μετρήσεις φάσματος αλλά τον μέσο όρο από τέσσερις μετρήσεις για την μείωση των αβεβαιοτήτων. Επιπλέον επιλέξαμε την λειτουργία AUTO στην επιλογή του χρόνου μέτρησης για την υψηλότερη ακρίβεια μετρήσεων αφού αυτή η λειτουργία έχει ως αποτέλεσμα την αυτόματη τροποποίηση του χρόνου έκθεσης με βάση την φωτεινότητα της φωτεινής πηγής φτάνοντας μέχρι και τα 27 δευτερόλεπτα σε αντίθεση με τις έτερες επιλογές FAST,SLOW που προσφέρουν χρόνους έκθεσης 0,5 και 2 δευτερολέπτων αντίστοιχα οδηγώντας σε μικρότερη αξιοπιστία μετρήσεων. Στην συνέχεια τα δεδομένα μέτρησης που αποθηκεύσαμε στο όργανο μεταφέρθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του λογισμικού διαχείρισης δεδομένων CL-S10W προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την ποσοτική ανάλυση που θα ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο (σχήμα 4.2.2) [47].

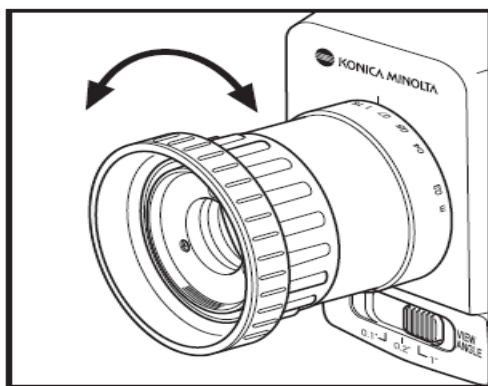


Σχήμα 4.2.2 KONICAMINOLTA CL500A

Για το λαμπρόμετρο (σχήμα 4.2.3.1) πριν την διαδικασία μέτρησης ακολουθήσαμε την ίδια μέθοδο καλιμπραρίσματος και εφαρμόσαμε την ίδια λογική σχετικά με το πλήθος των μετρήσεων όπως προηγουμένως. Συνεπώς για κάθε ένα χρωματικό patch λάβαμε πολλαπλές μετρήσεις λαμπρότητας χρησιμοποιώντας εν τέλει τον μέσο όρο αυτών. Να σημειωθεί ότι στην διαδικασία μέτρησης, μέσω της διόπτρας στο μπροστινό μέρος του οργάνου, προσαρμόσαμε την εστίαση του φακού, προκειμένου αυτός να είναι ευθυγραμμισμένος και εστιασμένος στο κέντρο του χρωματικού patch (σχήμα 4.2.3.2) [48].



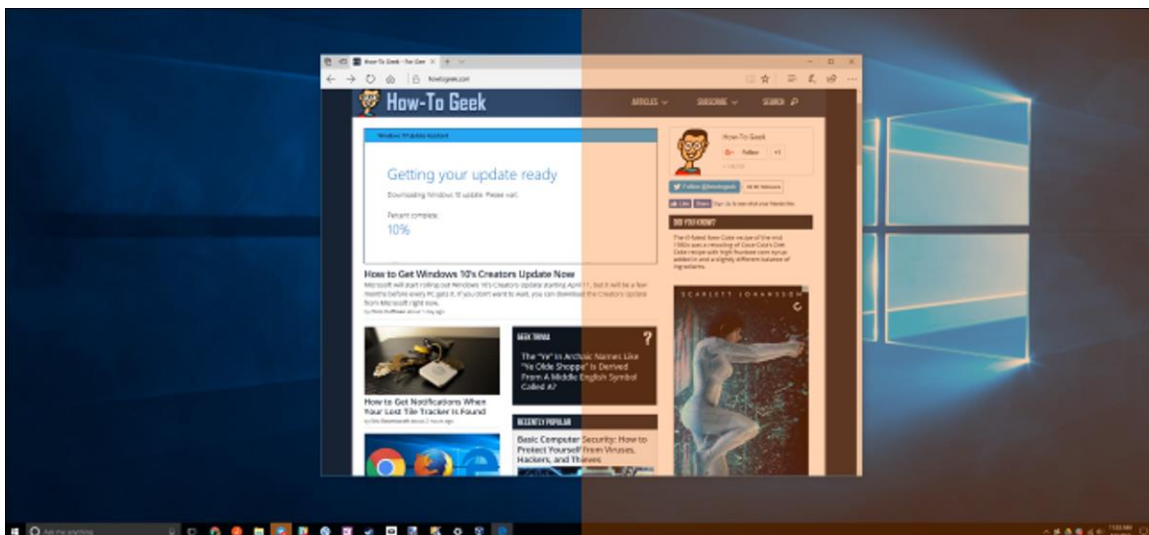
Σχήμα 4.2.3.1. KONICA MINOLTA CS 200



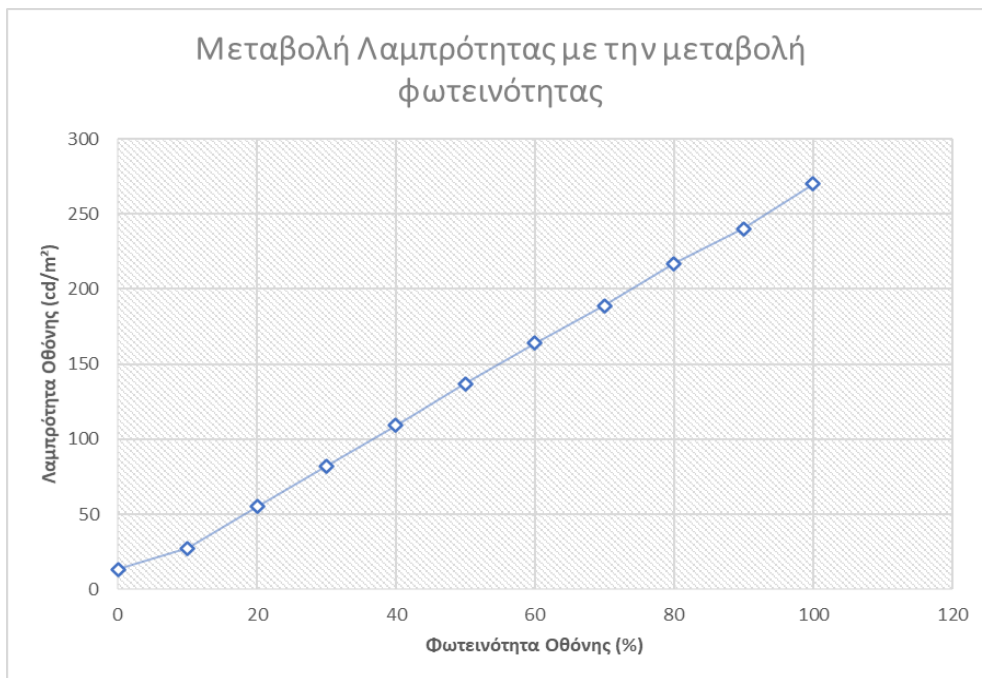
Σχήμα 4.2.3.2 Μεταβολή διόπτρας για την εστίαση του φακού στην οθόνη

4.3. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Οι μετρήσεις έγιναν στο εργαστήριο φωτοτεχνίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με την βοήθεια των προαναφερθέντων οργάνων. Η διαδικασία των μετρήσεων έγινε σε συνθήκες dark room, δηλαδή χωρίς την επίδραση φυσικού ή τεχνητού φωτισμού μιας και ο στόχος μας είναι η μέτρηση της λαμπρότητας των χρωματικών patches. Επομένως η μοναδική ενεργή φωτεινή πηγή κατά την διαδικασία των μετρήσεων ήταν οι οθόνες των τεσσάρων υπολογιστών. Επιπλέον οι οθόνες των υπολογιστών μετρήθηκαν τόσο με την λειτουργία νυχτερινού φωτισμού απενεργοποιημένη όσο και ενεργοποιημένη, δηλαδή η μετρητική διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τις δύο αυτές συνθήκες. Να σημειωθεί ότι το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού ρυθμίστηκε στο 50% της επίδρασης του διότι αυτό προτείνεται από προεπιλογή του κατασκευαστή. Για τιμές άνω του 50% η οθόνη αποκτά έντονα κίτρινη απόχρωση και η ποιότητα τις εμπειρίας θέασης μειώνεται προκαλώντας κούραση στον θεατή δεδομένης της παραμόρφωσης των χρωμάτων (εικόνα 4.3.1). Τέλος να σημειωθεί ότι, αφού αποδείξαμε μέσω ενός πρώτου σετ μετρήσεων λαμπρότητας στο ολόλευκο χρωματικό patch (RGB [255,255,255]) ότι αυτή φθίνει γραμμικά με το επίπεδο φωτεινότητας της οθόνης (γράφημα 4.3), αποφασίσαμε να διεξάγουμε τις μετρήσεις των χρωματικών patches σε επίπεδο φωτεινότητας 100% αφού αυτή θα είναι η πιο έντονη συνθήκη ακτινοβολίας που ενδεχομένως να επιφέρει μεγαλύτερο κίνδυνο στον θεατή.

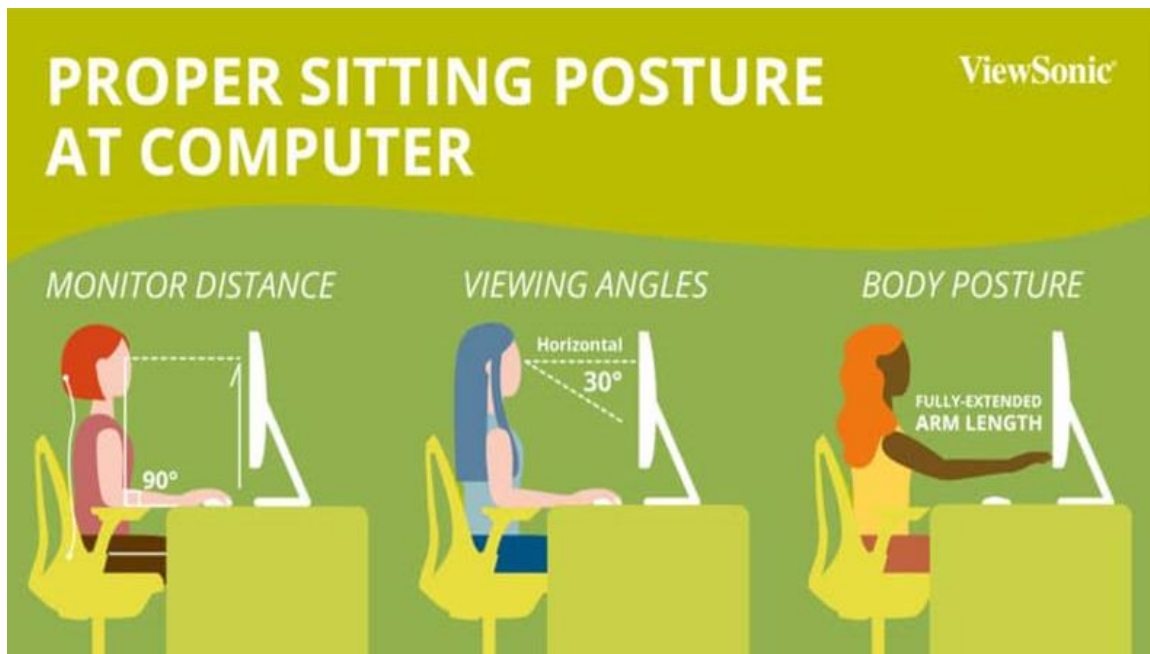


Εικόνα 4.3.1. Το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού εμφανίζει πιο θερμά χρώματα μειώνοντας την εκπομπή μπλε φωτός.



Γράφημα 4.3

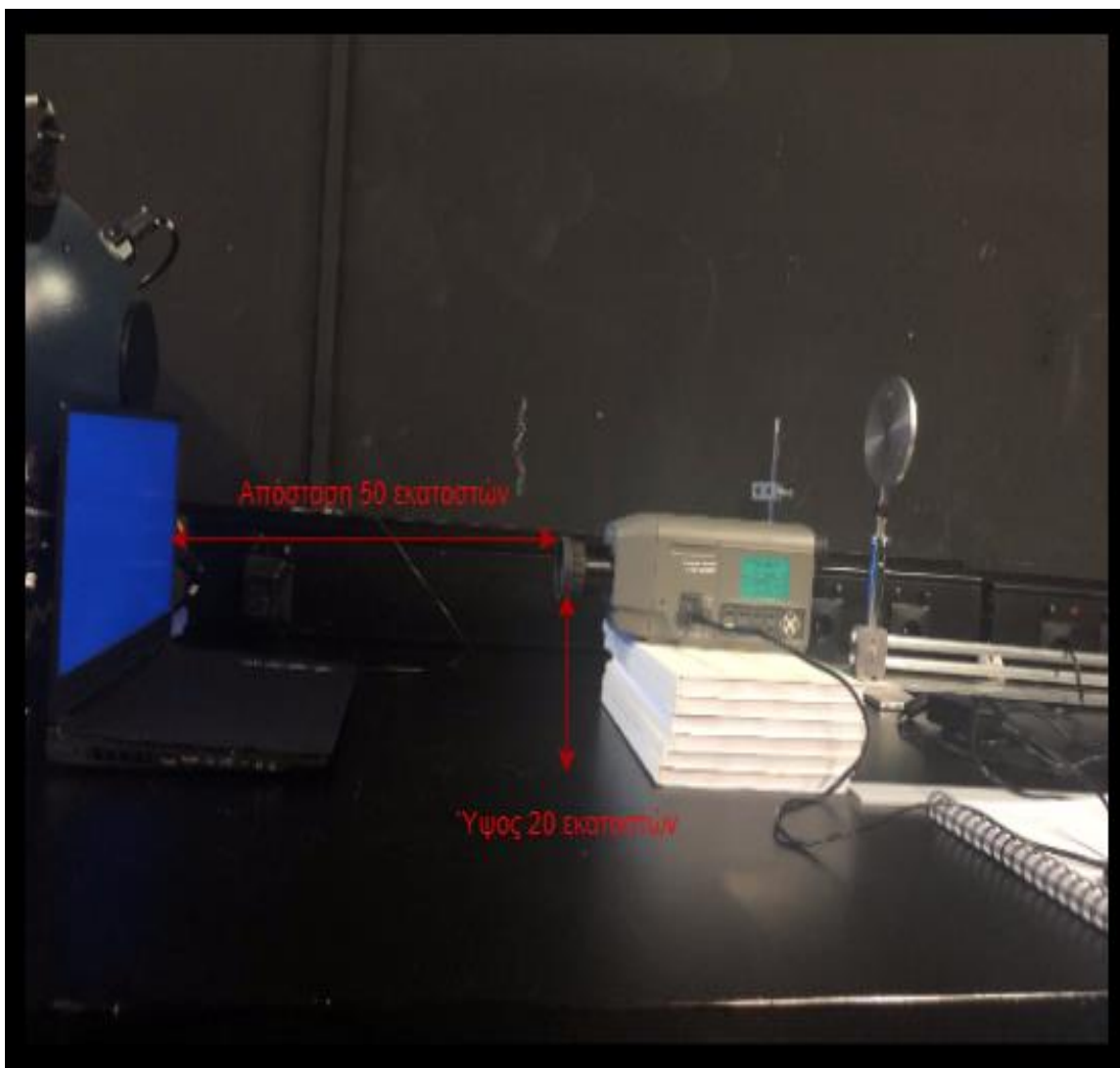
Στον χώρο του εργαστηρίου τοποθετήθηκαν οι υπολογιστές με το πάνελ των οθονών να είναι κάθετο στον οριζόντιο άξονα σχηματίζοντας με αυτόν γωνία 90 μοιρών. Η τοποθέτηση του οργάνου μέτρησης λαμπρότητας έγινε βάσει του τυπικού παρατηρητή που υποθετικά βρίσκεται μπροστά από την οθόνη. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψιν προτάσεις εργονομικού σχεδιασμού [49] προσομοιώσαμε τον τυπικό παρατηρητή σε απόσταση 50 εκατοστών από την επιφάνεια της οθόνης, κάθετα στον οριζόντιο άξονα και με τα μάτια του να έχουν ευθύγραμμο προσανατολισμό προς το κέντρο της οθόνης και απόσταση 20 εκατοστών από τον οριζόντιο άξονα που ορίζεται από την επιφάνεια του γραφείου.



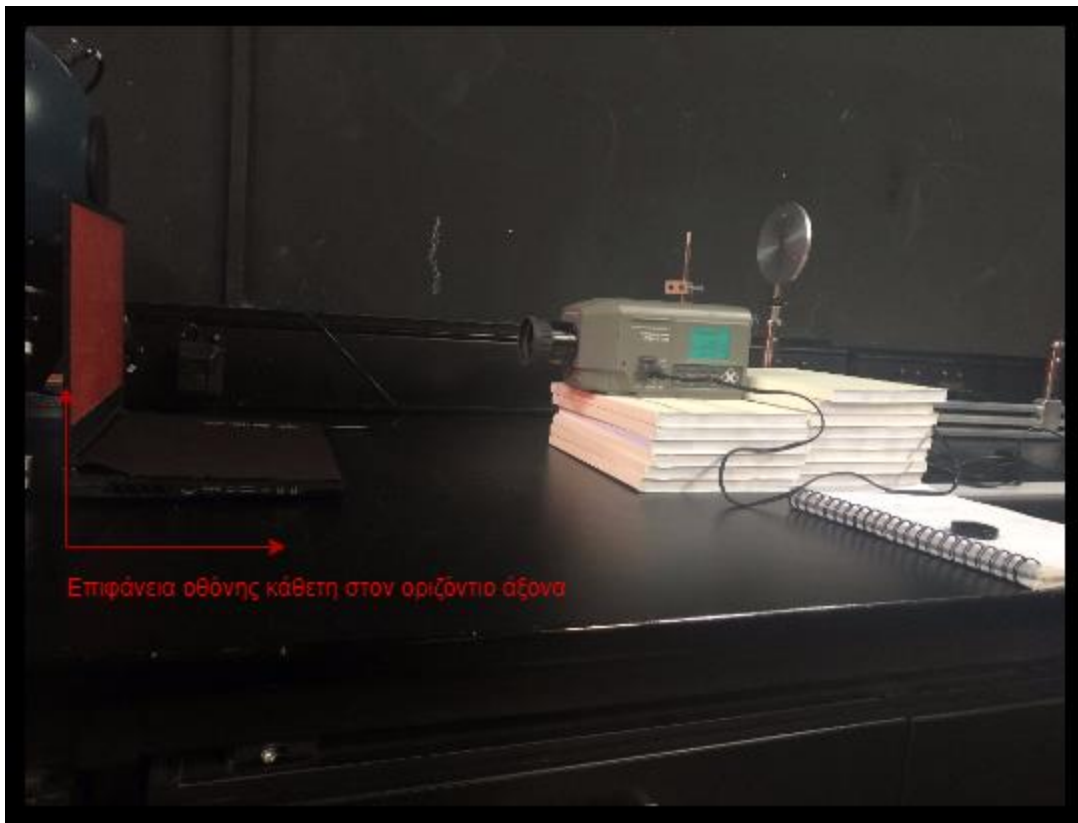
Σχήμα 4.3.1. Πρόταση εργονομικού σχεδιασμού θέσης θέασης οθονών

Συνεπώς το όργανο μέτρησης λαμπρότητας τοποθετήθηκε σε μία στέρεα βάση σε ύψος 20 εκατοστών από την επιφάνεια του εργαστηριακού πάγκου, σε απόσταση 50 εκατοστών από την επιφάνεια της οθόνης, κάθετα προς αυτήν και με τον φακό του οργάνου ευθύγραμμα προσανατολισμένο προς το κέντρο της οθόνης (εικόνες 4.3.2,4.3.3,4.3.4). Να σημειωθεί ότι οι φωτογραφίες της πειραματικής διάταξης ελήφθησαν με ανοιχτά τα φώτα στο εργαστήριο μιας και οι φωτογραφίες σε συνθήκες dark room εμφάνιζαν μεγάλη παραμόρφωση λόγω θάμβωσης και δεν ήταν ευδιάκριτες.

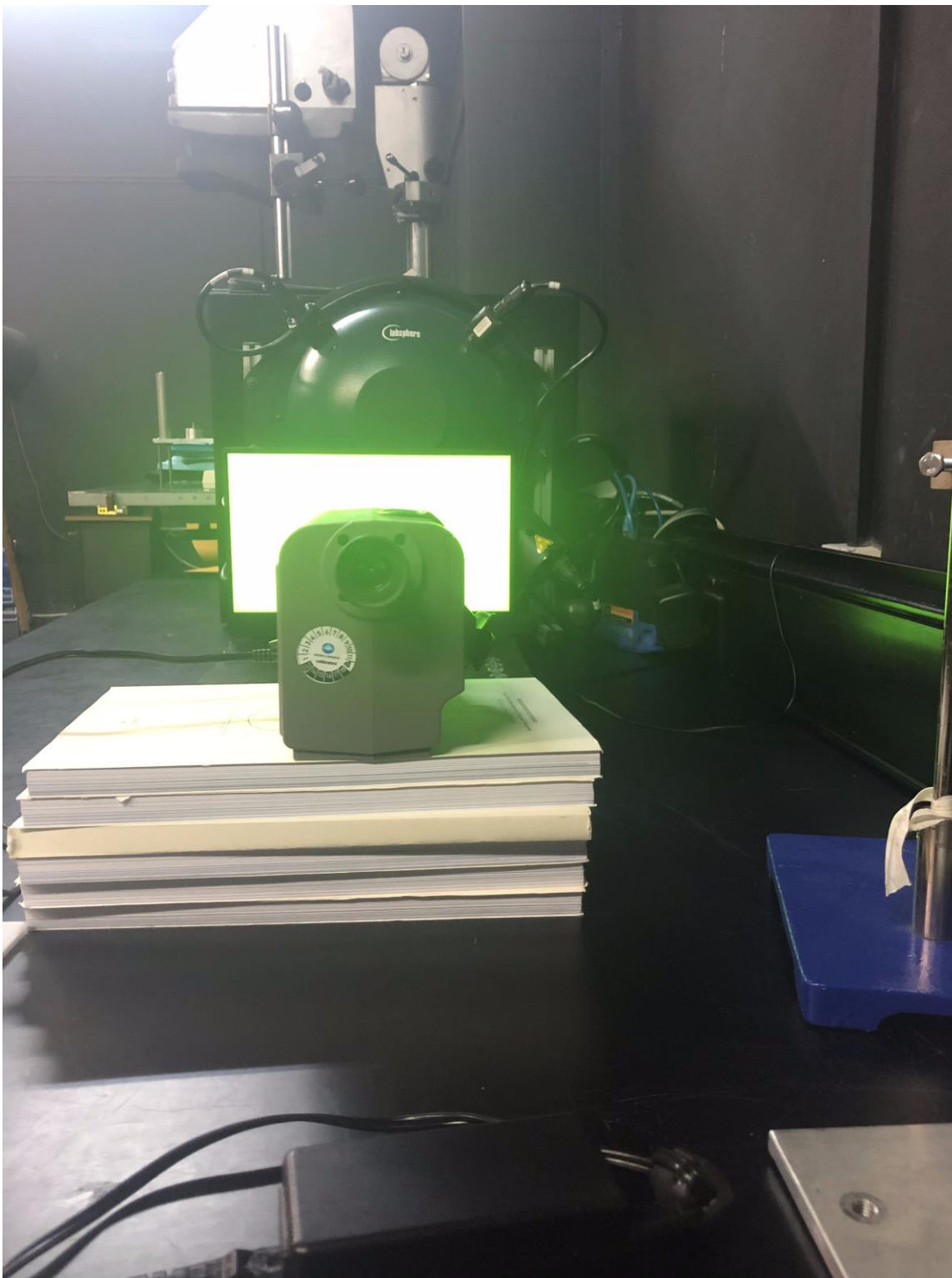
Σχετικά με τις μετρήσεις φάσματος, αυτές έγιναν σχεδόν εξ' επαφής από την επιφάνεια της οθόνης και το όργανο τοποθετήθηκε κάθετα σε αυτήν (εικόνα 4.3.5) Να σημειωθεί ότι λόγω της εξ' επαφής μέτρησης, δεν θα υπήρχε διαφορά αν οι μετρήσεις φάσματος πραγματοποιούνταν με τα φώτα του εργαστηρίου ανοιχτά μιας και ο αισθητήρας του οργάνου μέτρησης περικλείει μόνο την επιφάνεια που μετράει επομένως στα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν συμπεριλαμβάνονται οι ακτινοβολίες άλλων φωτεινών πηγών. Τα μετρούμενα φάσματα για την καθαρότερη απόχρωση των χρωμάτων για τις δύο καταστάσεις λειτουργίας του φίλτρου υγτρεινού φωτισμού παρουσιάζονται στις γραφήματα 4.3.1 έως 4.3.4.



Εικόνα 4.3.2. Τοπολογία πειράματος μετρήσεων λαμπρότητας από KONICA MINOLTA CS200



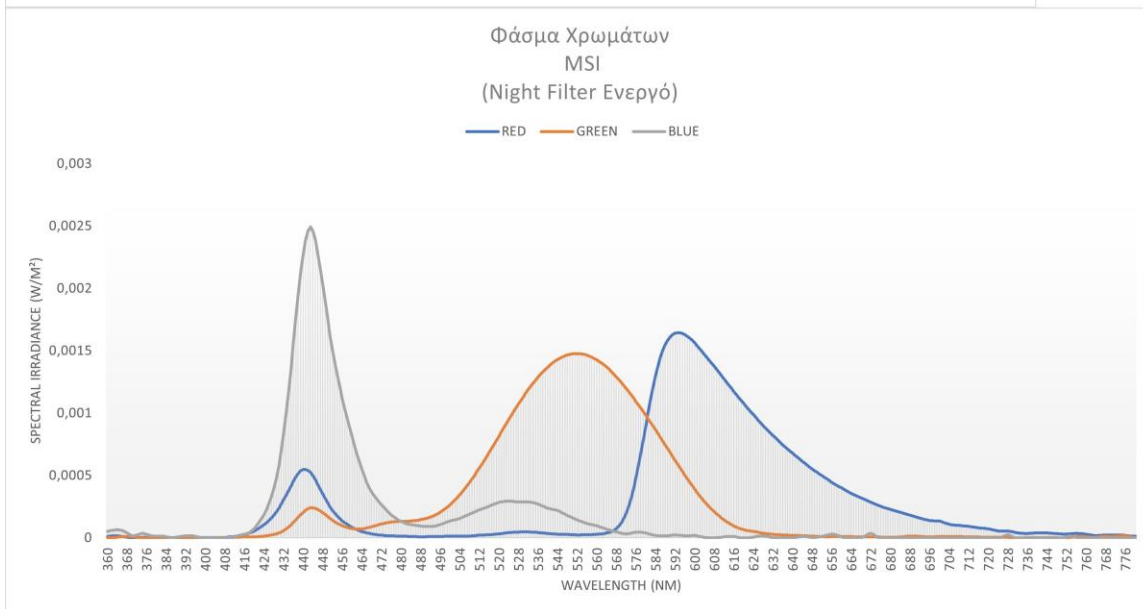
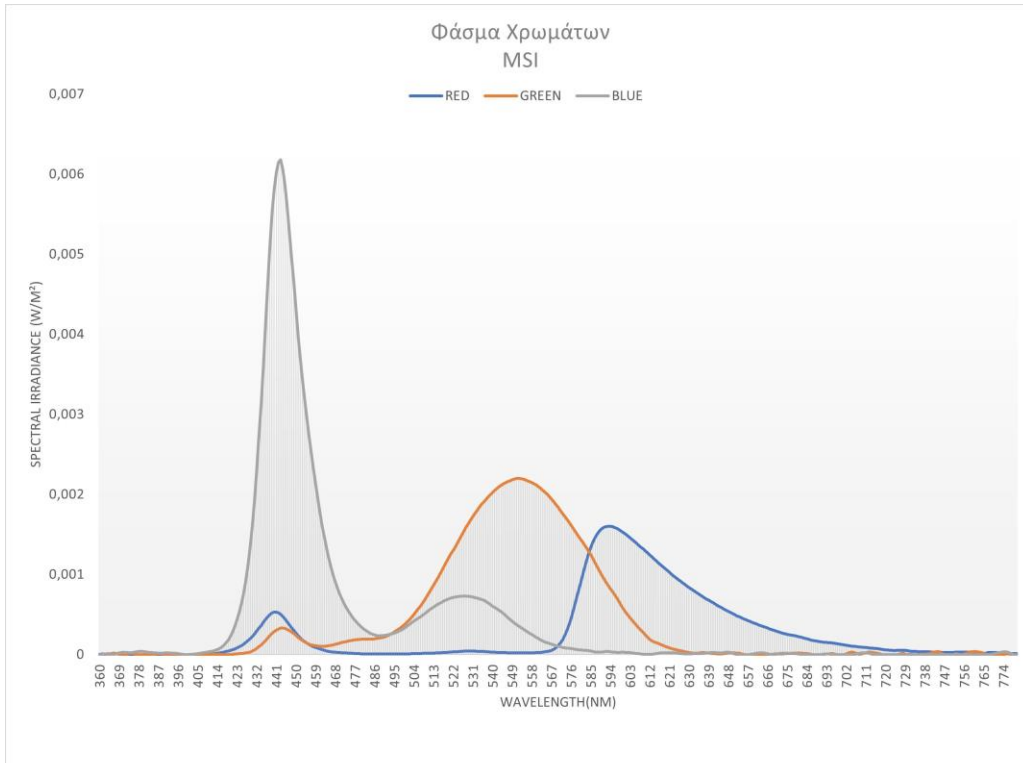
Εικόνα 4.3.3. Μέτρηση λαμπρότητας με την οθόνη να σχηματίζει ορθή γωνία με τον οριζόντιο άξονα



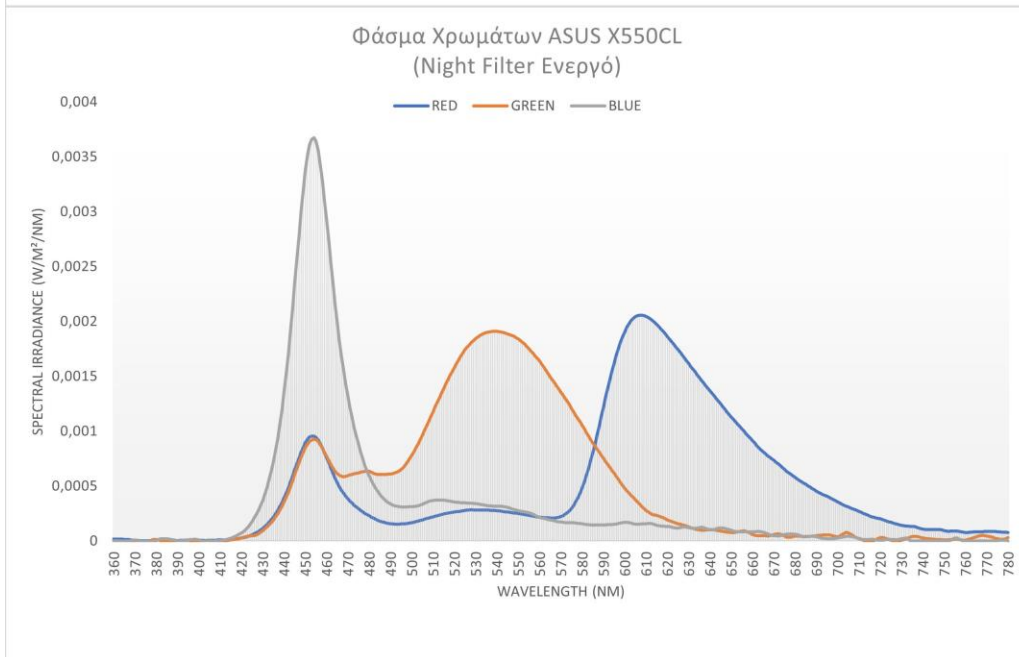
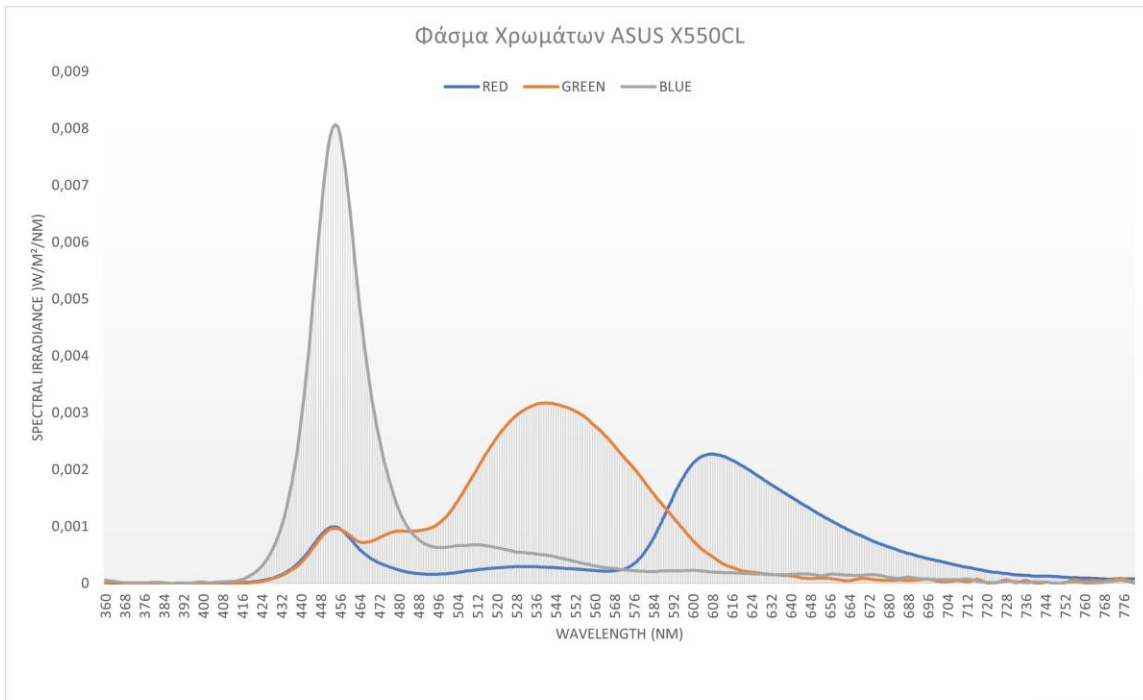
Εικόνα 4.3.4. Μέτρηση λαμπρότητας με το όργανο ευθυγραμμισμένο με το κέντρο της οθόνης



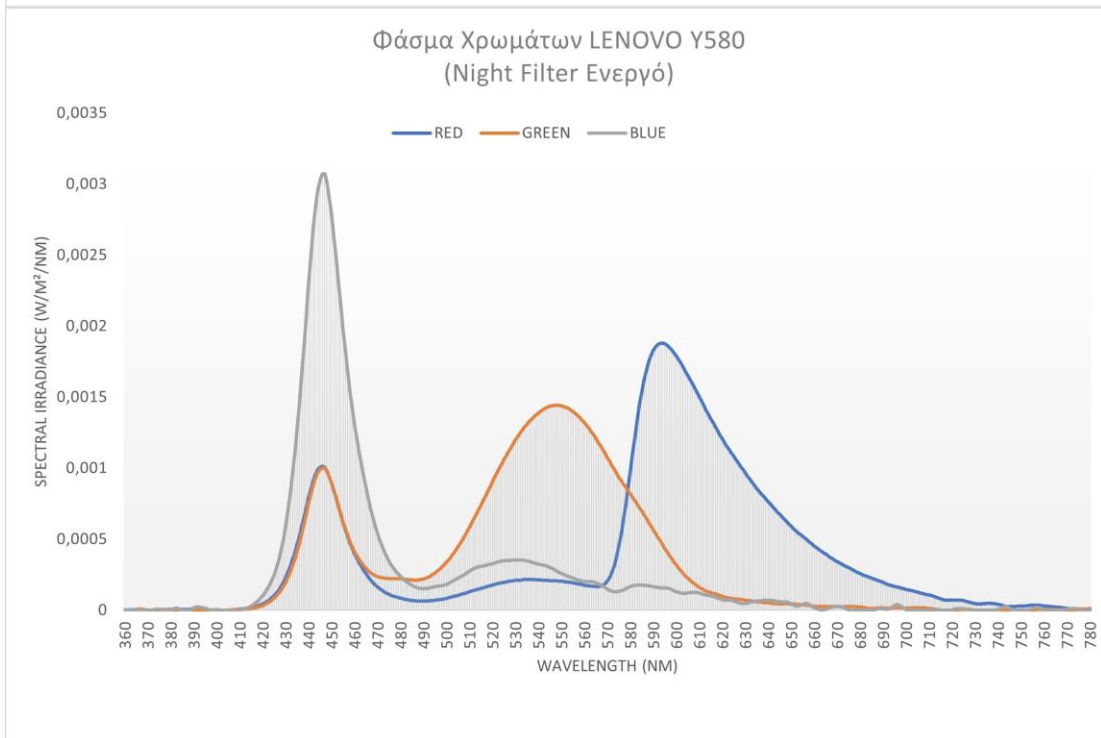
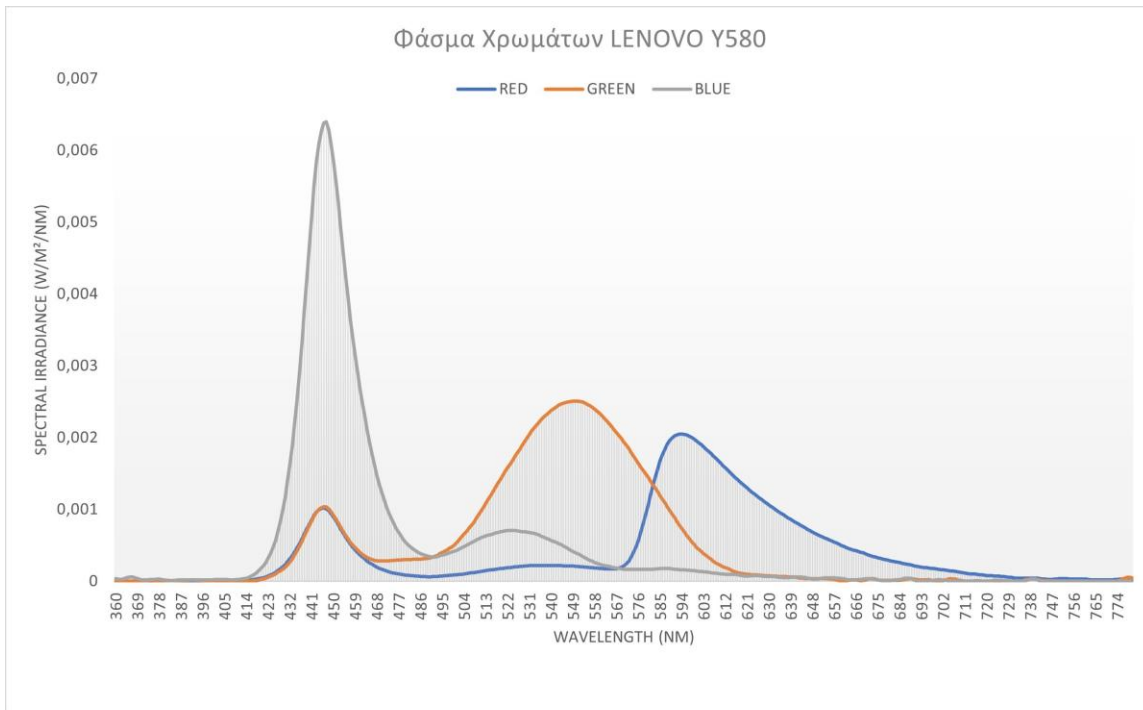
Εικόνα 4.3.5. Μέτρηση πράσινου και μπλε χρωματικού patch με το φασματόμετρο KONICA MINOLTA CL500A



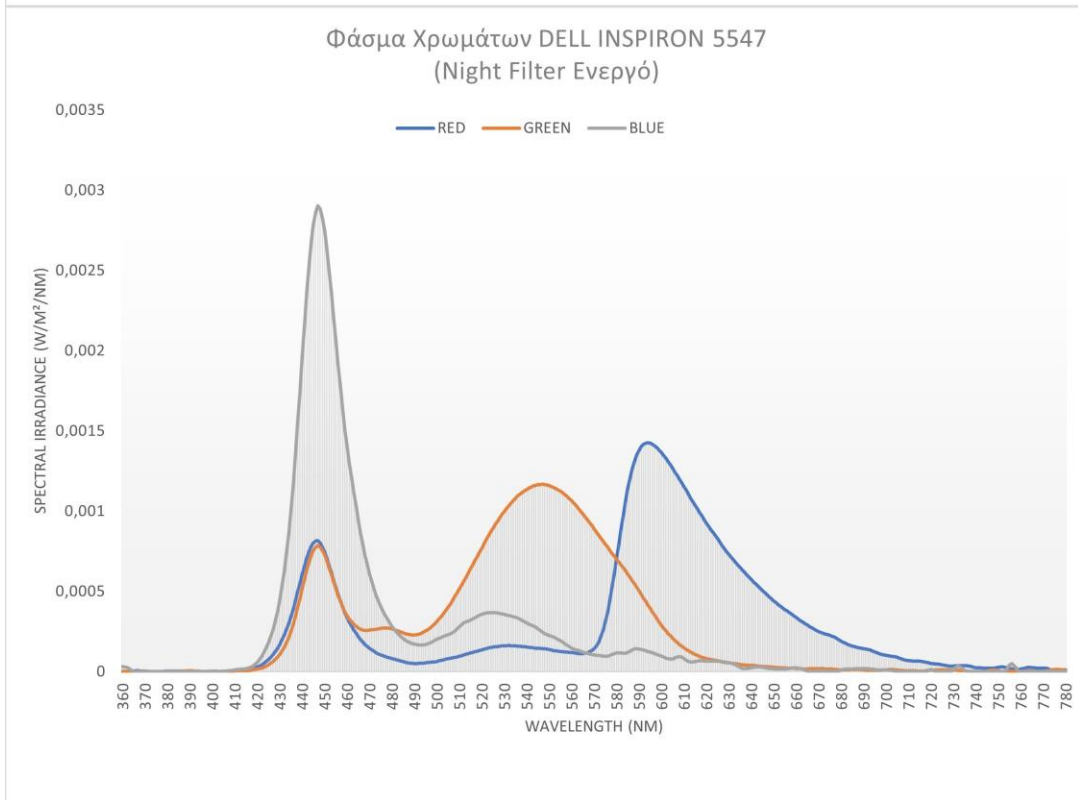
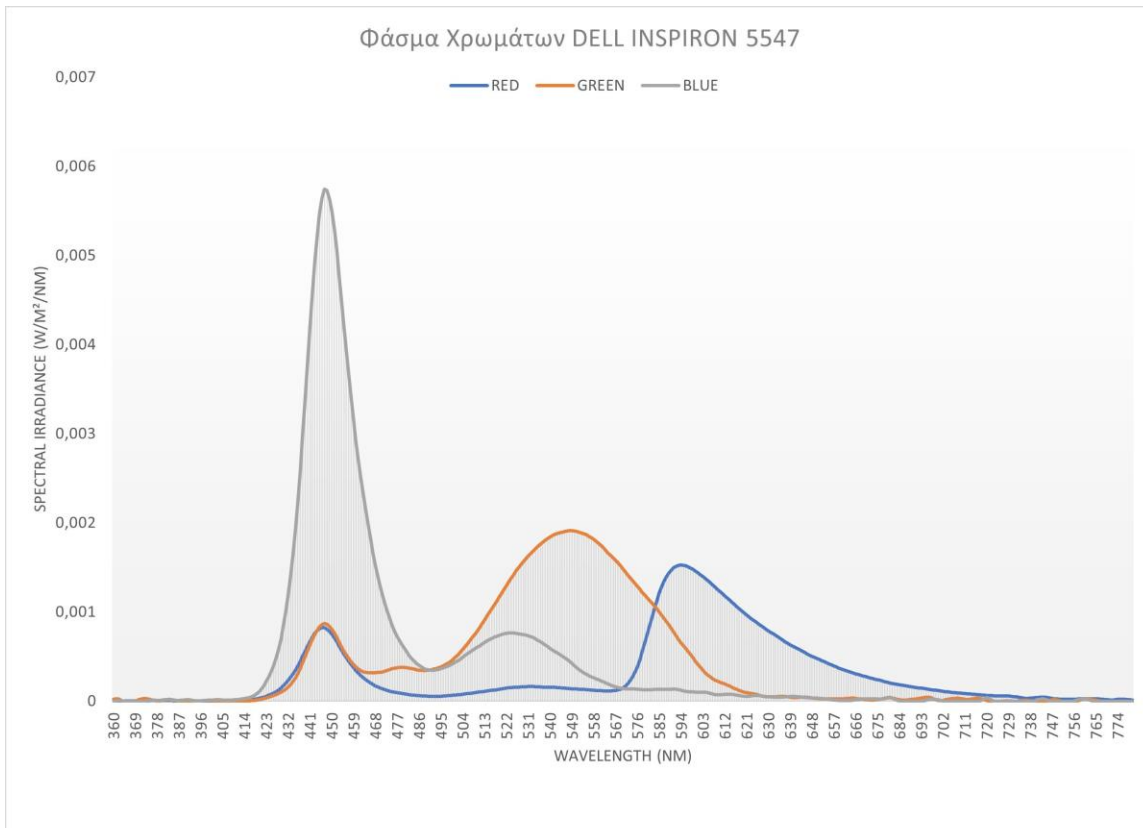
Γράφημα 4.3.1



Γράφημα 4.3.2



Γράφημα 4.3.3



Γράφημα 4.3.4



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ

5. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ

5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ

Με βάση την πειραματική διαδικασία που αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, λάβαμε τις μετρήσεις λαμπρότητας για όλες τις αποχρώσεις λευκού, κόκκινου, μπλε και πράσινου χρώματος για τις δύο καταστάσεις λειτουργίας του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού και για τους τέσσερις υπολογιστές. Τα patches 1,2,3,4,5 δείχνουν την απόχρωση του εκάστοτε χρώματος με το patch 1 να είναι η καθαρότερη χρωματική απόχρωση και το patch 5 η πιο σκοτεινή και η λιγότερο καθαρή χρωματικά. Συνεπώς το Patch 1 αφορά τις τιμές RGB [255,0,0],[0,255,0],[0,0,255],[255,255,255]. Αντίστοιχα το Patch 2 αφορά τις τιμές [200,0,0],[0,200,0],[0,0,200],[200,200,200] και ούτω καθεξής για τα υπόλοιπα χρωματικά patches. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους πίνακες 5.1.1 και 5.1.2 με το φίλτρο απενεργοποιημένο και ενεργοποιημένο αντίστοιχα.

Computer Model	Patches	Luminance (cd/m ²)			
		RED	GREEN	BLUE	WHITE
MSI GL65 95D	Patch 1	37,72	111,48	30,8	182,23
	Patch 2	21,5	63,93	17,5	107,47
	Patch 3	11,02	32,38	9,01	56,78
	Patch 4	4,5	13,04	3,68	23,48
	Patch 5	1,01	2,72	1,05	0,13
Asus X550CL	Patch 1	40,17	141,96	23,85	205,65
	Patch 2	18,88	76,36	14,18	110,55
	Patch 3	8,85	36,95	7,15	53,51
	Patch 4	3,42	14,38	2,91	20,73
	Patch 5	0,66	2,38	0,75	0,17
Lenovo Y580	Patch 1	41,36	110,4	22,33	173,9
	Patch 2	19,07	58,9	11,22	95,65
	Patch 3	8,9	27,81	5,48	46,47
	Patch 4	3,52	10,75	2,65	18,47
	Patch 5	0,9	2,45	1	0,19
Dell Inspiron 5547	Patch 1	29,85	88,59	24,81	143,09
	Patch 2	15,07	48,72	14,81	80,86
	Patch 3	7,33	23,34	7,64	40,63
	Patch 4	3	9,97	3,24	16,62
	Patch 5	0,74	2,25	0,97	0,14

Πίνακας 5.1.1. Μετρήσεις Λαμπρότητας με το νυχτερινό φίλτρο απενεργοποιημένο

Πίνακας 5.1.2. Μετρήσεις Λαμπρότητας με το νυχτερινό φίλτρο ενεργοποιημένο

Computer Model	Patches	Luminance (cd/m ²)			
		RED	GREEN	BLUE	WHITE
MSI GL65 95D	Patch 1	38,88	69,11	11,73	123,27
	Patch 2	21,31	42,54	6,96	68,41
	Patch 3	11,52	22,68	3,72	38,7
	Patch 4	4,69	8,9	1,51	16,41
	Patch 5	1,07	1,84	0,41	0,07
Asus X550CL	Patch 1	38,08	83,75	8,49	132,11
	Patch 2	18,25	44,83	4,82	69,09
	Patch 3	8,63	22,66	2,56	34,33
	Patch 4	3,31	8,81	1,05	13,16
	Patch 5	0,63	1,28	0,3	0,17
Lenovo Y580	Patch 1	39,21	65,78	6,42	116,2
	Patch 2	18,26	34,11	3,95	62,54
	Patch 3	8,64	16,87	2,39	31,17
	Patch 4	3,37	6,76	1,24	15,02
	Patch 5	0,87	1,57	0,51	0,13
Dell Inspiron 5547	Patch 1	28,48	52,82	8,94	92,02
	Patch 2	14,39	29	5,2	50,09
	Patch 3	7,03	15,17	2,83	25,77
	Patch 4	2,84	6,26	1,25	10,46
	Patch 5	0,71	1,38	0,41	0,14

Στους πίνακες, τα κελιά με μαύρη σκίαση παρουσιάζουν την λαμπρότητα της μονάδας οπίσθιου φωτισμού (Back Light Unit) δηλαδή την λαμπρότητα που εξέπεμψε η οθόνη την ώρα που μετρούσαμε το απόλυτα μαύρο χρωματικό patch που αντιστοιχίζεται στην RGB τιμή [0,0,0]. Επειδή στόχος μας είναι η χρωματομετρική ανάλυση των οθονών αυτή η τιμή παράσιτου φωτισμού θα πρέπει να αφαιρεθεί από όλες τις προηγούμενες μετρήσεις των βασικών χρωμάτων προκειμένου να λάβουμε τιμές καθαρής λαμπρότητας χρωμάτων χωρίς την επίδραση του φωτισμού της οπίσθιας μονάδας (Back Light Unit Offset).

Οι πίνακες λαμπρότητας των τριών βασικών χρωμάτων τόσο για την λειτουργία νυχτερινού φωτισμού απενεργοποιημένη όσο και ενεργοποιημένη ακολουθούν στην επόμενη σελίδα στους πίνακες 5.1.3 και 5.1.4 αντιστοίχως



Πίνακας 5.1.3. Τιμές λαμπρότητας με λειτουργία νυχτερινού φίλτρου απενεργοποιημένη

Computer Model	Patches	Luminance (cd/m ²)		
		RED	GREEN	BLUE
MSI GL65 95D	Patch 1	37,59	111,35	30,67
	Patch 2	21,37	63,8	17,37
	Patch 3	10,89	32,25	8,88
	Patch 4	4,37	12,91	3,55
	Patch 5	0,88	2,59	0,92
Asus X550CL	Patch 1	39,98	141,77	23,66
	Patch 2	18,69	76,17	13,99
	Patch 3	8,66	36,76	6,96
	Patch 4	3,23	14,19	2,72
	Patch 5	0,47	2,19	0,56
Lenovo Y580	Patch 1	41,17	110,21	22,14
	Patch 2	18,88	58,71	11,03
	Patch 3	8,71	27,62	5,29
	Patch 4	3,33	10,56	2,46
	Patch 5	0,71	2,26	0,81
Dell Inspiron 5547	Patch 1	29,71	88,45	24,67
	Patch 2	14,93	48,58	14,67
	Patch 3	7,19	23,2	7,5
	Patch 4	2,86	9,83	3,1
	Patch 5	0,6	2,11	0,83

Πίνακας 5.1.4. Τιμές λαμπρότητας με λειτουργία νυχτερινού φίλτρου ενεργοποιημένη

Computer Model	Patches	Luminance (cd/m ²)		
		RED	GREEN	BLUE
MSI GL65 95D	Patch 1	38,81	69,04	11,66
	Patch 2	21,24	42,47	6,89
	Patch 3	11,45	22,61	3,65
	Patch 4	4,62	8,83	1,44
	Patch 5	1	1,77	0,34
Asus X550CL	Patch 1	37,89	83,56	8,3
	Patch 2	18,06	44,64	4,63
	Patch 3	8,44	22,47	2,37
	Patch 4	3,12	8,62	0,86
	Patch 5	0,44	1,09	0,11
Lenovo Y580	Patch 1	39,08	65,65	6,29
	Patch 2	18,13	33,98	3,82
	Patch 3	8,51	16,74	2,26
	Patch 4	3,24	6,63	1,11
	Patch 5	0,74	1,44	0,38
Dell Inspiron 5547	Patch 1	28,34	52,68	8,8
	Patch 2	14,25	28,86	5,06
	Patch 3	6,89	15,03	2,69
	Patch 4	2,7	6,12	1,11
	Patch 5	0,57	1,24	0,27



5.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΑΜΜΑ

Για την αναπαραγωγή μια εικόνας στον υπολογιστή, τα δεδομένα της εικόνας διαχωρίζονται στα δομικά στοιχεία της τα οποία ονομάζονται pixels. Κάθε pixel αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο χρώμα σε μια συγκεκριμένη θέση της οθόνης. Μια εικόνα που αναπαράγεται σε ανάλυση υψηλής ευκρίνειας δηλαδή 1920x1080 pixels θα περιέχει εκατομμύρια από αυτά τα pixels. Κάθε pixel κωδικοποιείται με την μορφή μια τριάδας τιμών RGB. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του pixel τόσο μεγαλύτερη θα είναι η μετρούμενη λαμπρότητα [50].

Επιστήμονες της όρασης και της ανάλυσης εικόνας επιχειρούν να χαρακτηρίσουν την σχέση μεταξύ των φυσικών χαρακτηριστικών ενός ερεθίσματος και της οπτικής τους αντίληψης από τον θεατή αναμένοντας την γραμμική σχέση μεταξύ της τριάδας που χαρακτηρίζει το κάθε pixel και της λαμπρότητας. Κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει καθώς η σχέση μεταξύ της τιμής των pixel και της λαμπρότητας τυπικά περιγράφεται από μια εκθετική συνάρτηση της μορφής $y=x^\gamma$ όπου y είναι η τιμή της λαμπρότητας, x είναι η τιμή του pixel και γ είναι η δύναμη που χαρακτηρίζει την σχέση μεταξύ των τιμών y και x . Αυτή η σχέση επιτρέπει στο μεγάλο εύρος λαμπροτήτων που υπάρχει στον πραγματικό κόσμο να συμπιεστεί στο περιορισμένο εύρος λαμπροτήτων μιας ψηφιακής οθόνης [51].

Επομένως, στο πείραμα μας, κάθε χρώμα χαρακτηρίζεται από μια συνάρτηση γάμμα η οποία προκύπτει από την σχέση με την οποία αλληλεπιδρούν οι τιμές RGB και η μετρούμενη λαμπρότητα των Patches 1,2,3,4,5. Ο λόγος για τον οποίο σχεδιάστηκαν τα χρωματικά patches και μετρήθηκαν οι λαμπρότητες αυτών είναι για την ανεύρεση των συναρτήσεων γάμμα κάθε υπολογιστή δηλαδή του τρόπου με τον οποίο ο υπολογιστής εκπέμπει λαμπρότητα για ένα συγκεκριμένο επίπεδο RGB.

Για την εύρεση των συναρτήσεων γάμμα που χαρακτηρίζουν την αναπαραγωγή των βασικών χρωμάτων κάθε υπολογιστή χρησιμοποιήσαμε την εφαρμογή Curve Fitting στο λογισμικό μαθηματικής επεξεργασίας MATLAB επιλέγοντας ως ανεξάρτητη μεταβλητή τα επίπεδα RGB των χρωματικών patches και εξαρτημένη την μετρούμενη λαμπρότητα αυτών των patches και για τις δύο καταστάσεις λειτουργίας του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού. Η μαθηματική σχέση που ορίσαμε πως πρέπει να ακολουθούν αυτές οι μεταβλητές είναι της μορφής $y = a \cdot x^\beta$.



Τα αποτελέσματα της εφαρμογής Curve Fitting για κάθε ένα κανάλι βασικού χρώματος για τους τέσσερις υπολογιστές χωρίς την λειτουργία νυχτερινού φωτισμού παρουσιάζονται στους πίνακες 5.2.1 έως 5.2.4 ενώ με την λειτουργία νυχτερινού φωτισμού στους πίνακες 5.2.5 έως 5.2.8 μαζί με τις τιμές του συντελεστή αυτό-συσχέτισης R^2 και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMSE σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Παρατηρώντας αυτές τις τιμές, βλέπουμε ότι έγινε fitting υψηλής ποιότητας επομένως οι συναρτήσεις γάμμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια της διαδικασίας. Η γραφική απεικόνιση των συναρτήσεων βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

Πίνακας 5.2.1

	MSI GL659SD	Συντελεστής	Μέσο
		Αυτό- συσχέτισης	Τετραγωνικό Σφάλμα
		R^2	RMSE
Red Gamma	$y = 0,0001084 \cdot x^{2,303}$	1	0,12106
Green Gamma	$y = 0,0003111 \cdot x^{2,308}$	0,9998	0,4036
Blue Gamma	$y = 0,0000904 \cdot x^{2,298}$	0,9999	0,2092

Πίνακας 5.2.2

	ASUS X550CL	Συντελεστής	Μέσο
		Αυτό- συσχέτισης	Τετραγωνικό Σφάλμα
		R^2	RMSE
Red Gamma	$y = 0,0000031 \cdot x^{2,952}$	0,9984	0,6415
Green Gamma	$y = 0,0001149 \cdot x^{2,531}$	0,9999	0,6125
Blue Gamma	$y = 0,0000822 \cdot x^{2,269}$	0,9995	0,2182

Πίνακας 5.2.3

	LENOVO Y580	Συντελεστής	Μέσο
		Αυτό- συσχέτισης	Τετραγωνικό Σφάλμα
		R^2	RMSE
Red Gamma	$y = 0,0000024 \cdot x^{3,005}$	0,9977	0,7863
Green Gamma	$y = 0,0000687 \cdot x^{2,578}$	0,9998	0,5974
Blue Gamma	$y = 0,00000821 \cdot x^{2,67}$	0,9958	0,5608



Πίνακας 5.2.4

	DELL INSPIRON 5547	Συντελεστής	Μέσο
		Αυτό- συσχέτισης	Τετραγωνικό Σφάλμα
		R ²	RMSE
Red Gamma	$y = 0,0000098 \cdot x^{2,692}$	0,9991	0,4134
Green Gamma	$y = 0,0001058 \cdot x^{2,461}$	0,9996	0,7791
Blue Gamma	$y = 0,0001228 \cdot x^{2,204}$	0,9997	0,1795

Πίνακας 5.2.5

	MSI GL659SD (Night Vision on)	Συντελεστής	Μέσο
		Αυτό- συσχέτισης	Τετραγωνικό Σφάλμα
		R ²	RMSE
Red Gamma	$y = 0,0000898 \cdot x^{2,341}$	0,9993	0,4593
Green Gamma	$y = 0,0005736 \cdot x^{2,112}$	0,9994	0,7736
Blue Gamma	$y = 0,0000612 \cdot x^{2,194}$	0,999	0,0416

Πίνακας 5.2.6

	ASUS X550CL (Night Vision on)	Συντελεστής	Μέσο
		Αυτό- συσχέτισης	Τετραγωνικό Σφάλμα
		R ²	RMSE
Red Gamma	$y = 0,0000041 \cdot x^{2,89}$	0,9987	0,5433
Green Gamma	$y = 0,0000798 \cdot x^{2,501}$	0,9996	0,6358
Blue Gamma	$y = 0,0000144 \cdot x^{2,393}$	0,9998	0,0430

Πίνακας 5.2.7

	LENOVO Y580 (Night Vision on)	Συντελεστής	Μέσο
		Αυτό- συσχέτισης	Τετραγωνικό Σφάλμα
		R ²	RMSE
Red Gamma	$y = 0,0000030 \cdot x^{2,952}$	0,9982	0,7545
Green Gamma	$y = 0,00003826 \cdot x^{2,59}$	0,9993	0,7748
Blue Gamma	$y = 0,0001606 \cdot x^{1,907}$	0,9987	0,0966

Πίνακας 5.2.8

	DELL 5547 (Night Vision on)	Συντελεστής	Μέσο
		Αυτό- συσχέτισης	Τετραγωνικό Σφάλμα
		R ²	RMSE
Red Gamma	$y = 0,0000094 \cdot x^{2,69}$	0,9991	0,3832
Green Gamma	$y = 0,000099 \cdot x^{2,378}$	0,9996	0,4611
Blue Gamma	$y = 0,0000367 \cdot x^{2,235}$	0,9999	0,0385

5.3. ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

5.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην προηγούμενη ενότητα εξήγαμε τις συναρτήσεις γάμμα για κάθε βασικό χρώμα για τους τέσσερις υπολογιστές που μετρήσαμε. Όπως αναφέραμε αυτές οι συναρτήσεις δίνουν την τιμή της λαμπρότητας για ένα δεδομένο επίπεδο τιμών RGB και προέκυψαν γνωρίζοντας ήδη τις τιμές RGB των χρωματικών patches καθότι τα βασικά χρώματα και οι αποχρώσεις τους έχουν γνωστές RGB τιμές και για αυτόν τον λόγο ήταν δυνατό να τα δημιουργήσουμε. Αυτό που δεν γνωρίζουμε είναι το πόση λαμπρότητα εκπέμπει η οθόνη όταν απεικονίζει κανονικές καταστάσεις χρήσης με πολλαπλές αποχρώσεις και περιεκτικότητες χρωμάτων και όχι απλώς βασικά καθαρά χρώματα και αποχρώσεις τους με γνωστές RGB τιμές. Η πρώτη σκέψη που εύκολα μπορεί να γίνει είναι το να μετρήσουμε σε διάφορα σημεία της οθόνης με το όργανο μέτρησης λαμπρότητας. Αυτές όμως οι μετρήσεις δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια λόγω της χρωματικής ποικιλίας κάθε εικόνας, μιας και σε διαφορετικά σημεία μιας κατάστασης χρήσης πάνω σε μία οθόνη εμφανίζονται πολλά και διαφορετικά χρώματα και συνεπώς, οι μετρήσεις αυτές θα αποτελούσαν μια απλή εκτίμηση της λαμπρότητας. Επομένως κληθήκαμε να σκεφτούμε αφενός ποιες καταστάσεις χρήσης των οθονών αξίζει να μελετήσουμε και αφετέρου πως μπορούμε να υπολογίσουμε την λαμπρότητα που εκπέμπουν οι οθόνες σε κάθε μία από αυτές τις καταστάσεις χρήσης.



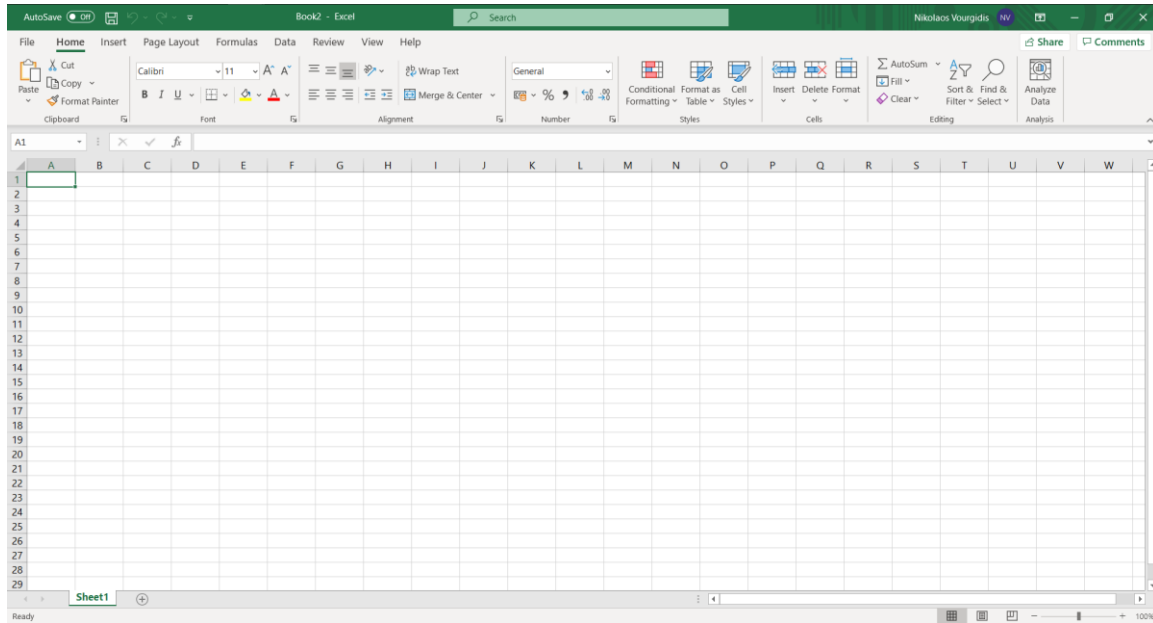
5.3.1. ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ

Αναφορικά με τις καταστάσεις χρήσης της οθόνης κρίθηκε λογικό το να δημιουργήσουμε στιγμιότυπα οθόνης όσο εκείνη απεικονίζει καταστάσεις χρήσης που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται σε ένα περιβάλλον γραφείου. Έτσι επιλέξαμε στιγμιότυπα από

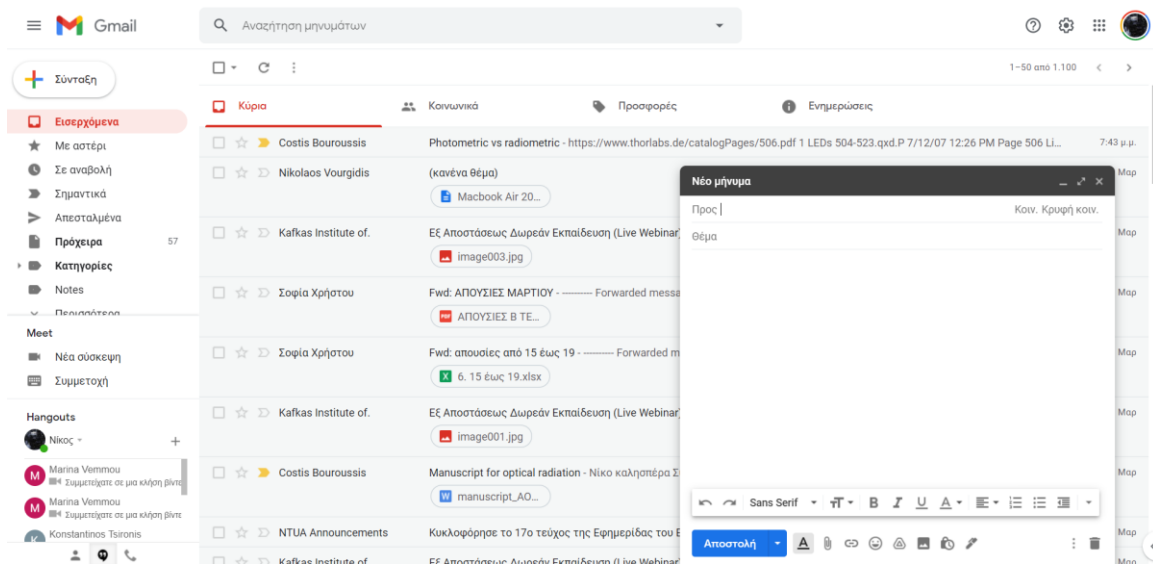
- το λογισμικό υπολογιστικών φύλλων EXCEL (εικόνα 5.1)
- την υπηρεσία mail GMAIL (εικόνα 5.2)
- την υπηρεσία mail OUTLOOK (εικόνα 5.3)
- το λογισμικό συγγραφής κώδικα Python VISUAL CODE STUDIO (εικόνα 5.4)
- το λογισμικό μαθηματικής επεξεργασίας MATLAB (εικόνα 5.5)
- την πλατφόρμα εταιρικής και ακαδημαϊκής επικοινωνίας MS TEAMS. (εικόνα 5.6)

Επιπλέον στην υπηρεσία mail GMAIL ενεργοποιήσαμε την σκοτεινή λειτουργία Dark Mode που προσφέρεται προκειμένου να δούμε ποσοτικά πως αυτή επηρεάζει χρωματικά την εικόνα αρά και την λαμπρότητα της εικόνας (εικόνα 5.7).

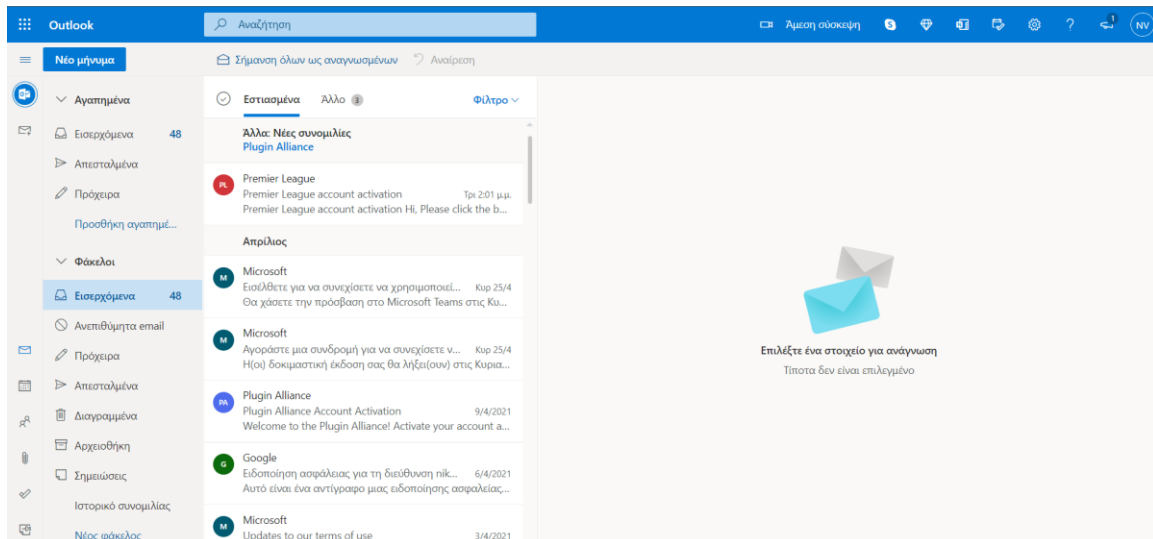
Γενικότερα η λειτουργία dark mode σχετίζεται με την ιστορία των υπολογιστών. Τα πρώτα χρόνια της κατασκευής των υπολογιστών η προεπιλογή ήταν να παρουσιάζεται κείμενο φωτεινών χρωματισμών σε μαύρο φόντο ενώ με το πέρασμα των χρόνων υπήρξε αντιστροφή με τους υπολογιστές πλέον να παρουσιάζουν σκοτεινό χρωματικά κείμενο σε λευκό φόντο προκειμένου η ψηφιακή σελίδα να είναι πιο φιλική προς τον χρήστη. Η σκοτεινή λειτουργία είναι χρήσιμη για τον περιορισμό του φωτός που εκπέμπεται από την οθόνη αρά και ενδεχομένως για τον περιορισμό της ακτινοβολίας μπλε φωτός που εκπέμπεται από αυτήν.



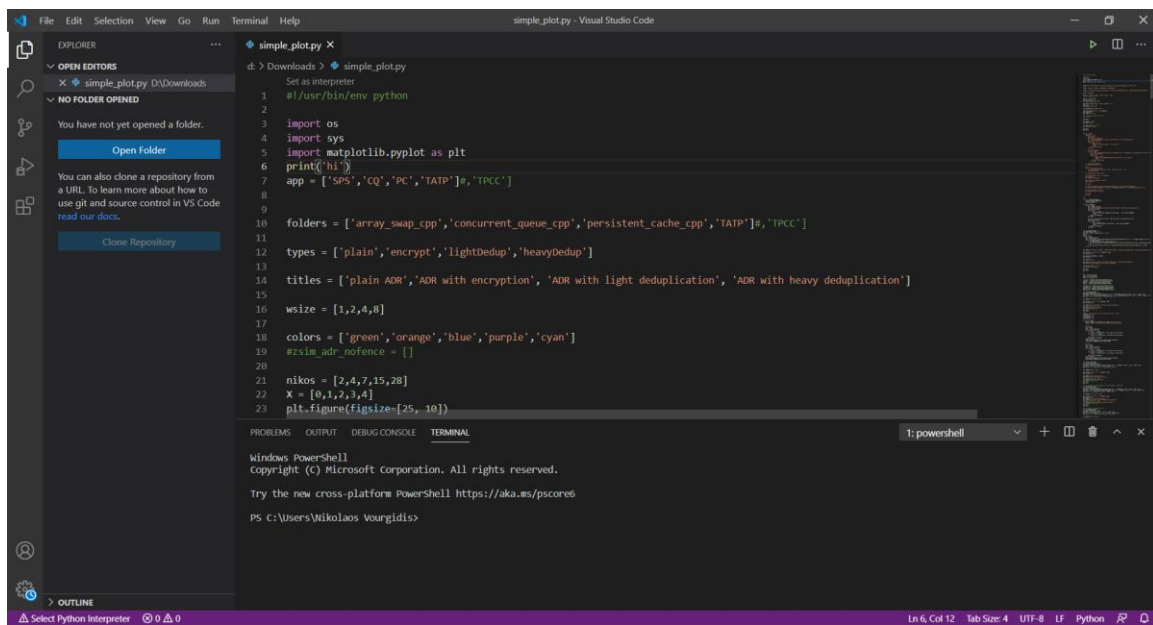
Εικόνα 5.1. Excel



Εικόνα 5.2. Gmail



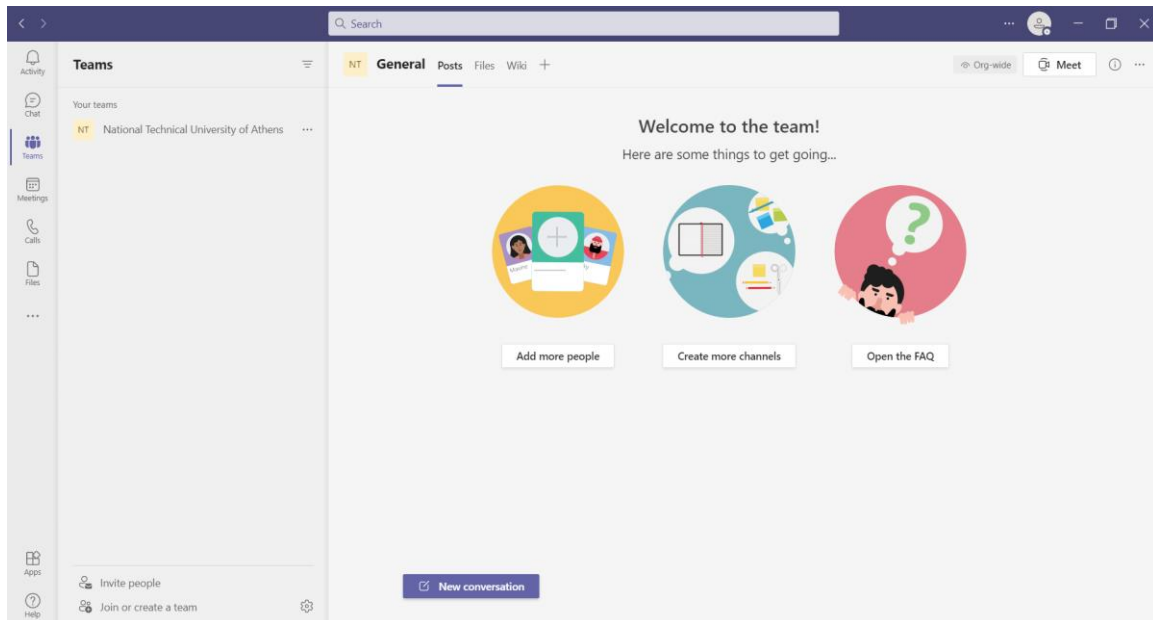
Εικόνα 5.3. Outlook



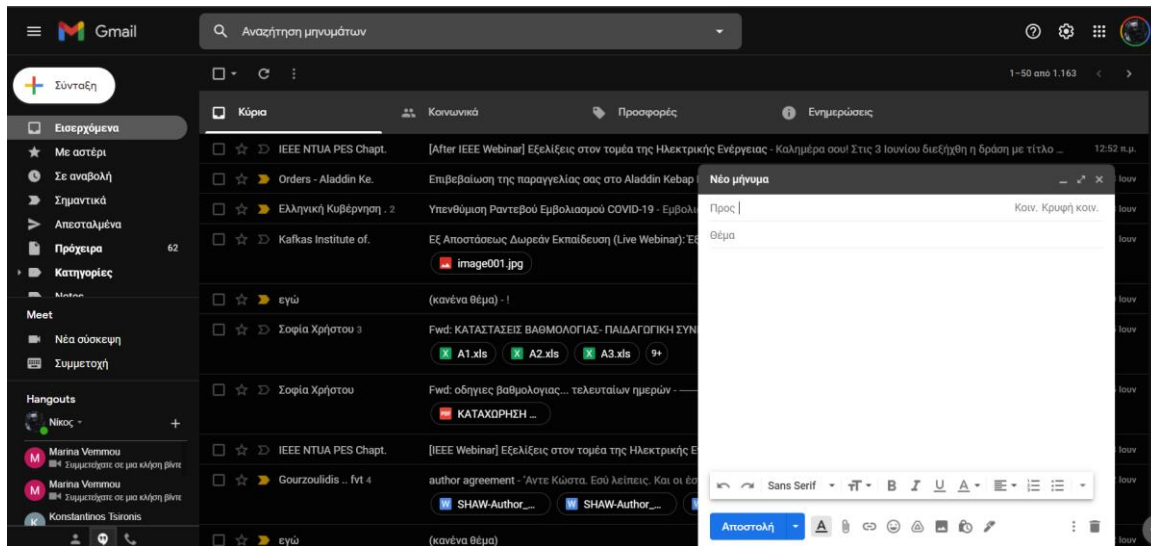
Εικόνα 5.4. Visual Code Studio


```
1 %% A very simple routine that produces and displays an inverse gamma CLUT
2 % Written on 05/05/2020 by SK
3 % Takes a single input _gamma_, the estimated gamma coefficient.
4 clear all
5 load mySampledLuminance.mat
6 gamma = 2.29; % Obtained from https://skenny.shinyapps.io/CurveFitting/, y = x^gamma.
7
8
9 %% Get the inverse gamma function
10
11 maxLum = max(luminance);
12 luminanceRamp=[0:1/255:1];
13 offset=0;
14 invertedRamp=((maxLum-offset)*(luminanceRamp.^(1/gamma)))+offset; %invert gamma w/o rounding
15 invertedRamp=invertedRamp./max(invertedRamp);%normalize inverse gamma table
16
17 %plot inverse gamma function
18 figure(3); clf; hold on;
19 pels=[0:255];
20 plot(pels,invertedRamp,'t');
21 axis('square');
22 xlabel('Pixel Values');
23 ylabel('Inverse Gamma Table');
24 strtitle(1)='Inverse Gamma Function,';
25 strtitle(2)=[ 'gamma = ',num2str(gamma),' Offset = ',num2str(offset)];
26 title(strtitle);
27 hold off;
28
29 inverseCLUT = repmat(invertedRamp,1,3); % duplicate inverse gamma function to generate the gamma-correction CLUT, extended to the three RGB channels
30
31 %% Save inverse gamma table
32 save inverseCLUT.mat inverseCLUT gamma
```

Εικόνα 5.5. Matlab



Εικόνα 5.6. Ms Teams



Εικόνα 5.7. Gmail/Dark Mode

5.3.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Σε αυτή την ενότητα θα απαντήσουμε στο ερώτημα που διατυπώθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου και το οποίο υπενθυμίζουμε: «Πως είναι δυνατόν μέσα από εργαστηριακές μετρήσεις των βασικών χρωμάτων να καταφέρουμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την ακτινοβολία μπλε φωτός της οθόνης όταν η οθόνη αναπαράγει τυπικά προγράμματα εργασίας και όχι απλά ένα λευκό φόντο»

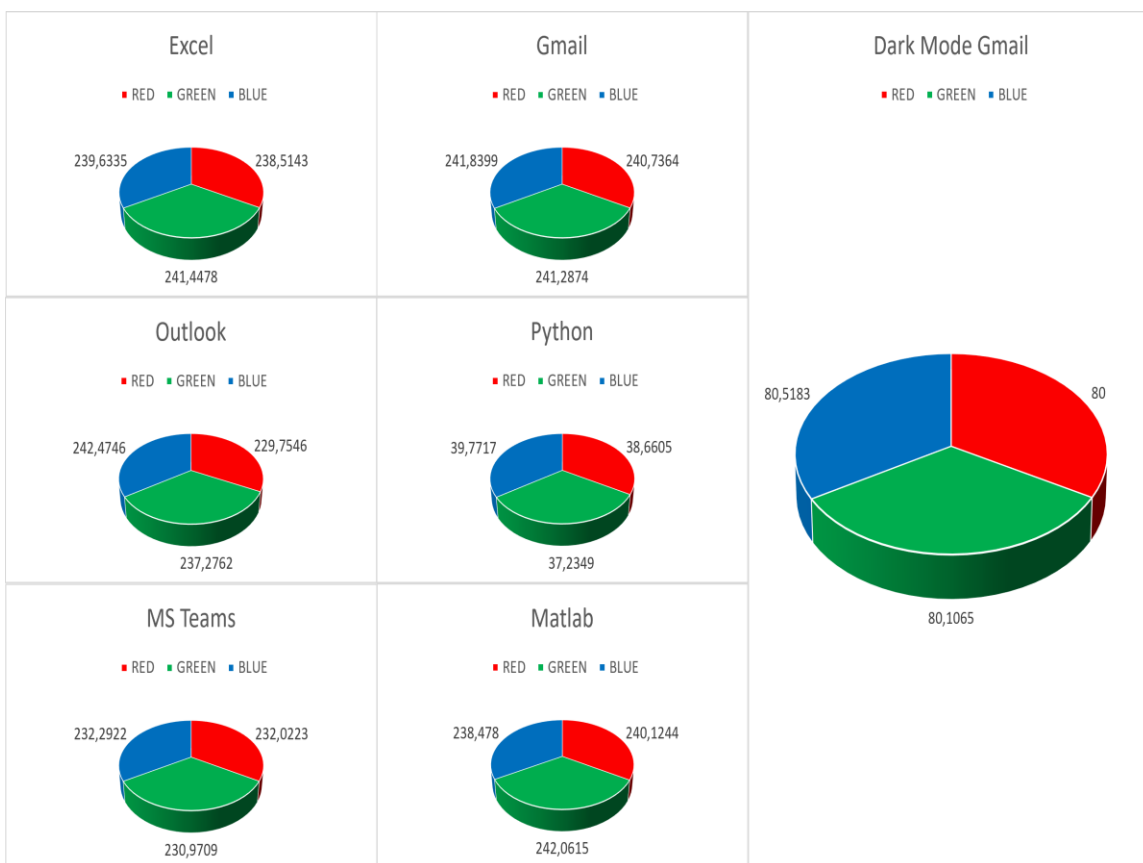
Η λύση σε αυτό το πρόβλημα ήρθε από την συγγραφή κώδικα στο λογισμικό Image Processing Toolbox του Matlab η οποία ως στόχο είχε την χρωματική ανάλυση των καταστάσεων χρήσης και την εξαγωγή των RGB τιμών τους. Η λογική πίσω από τον κώδικα είναι η εξής:

Ο αλγόριθμος δέχεται σαν είσοδο την εκάστοτε εικόνα, αναγνωρίζει τις διαστάσεις της δηλαδή από πόσα pixels αποτελείται και στην συνέχεια για κάθε ένα pixel βρίσκει την RGB τιμή του και την αποθηκεύει σε 3 στήλες με βάση το χρώμα. Κατόπιν, εκτελούνται όλες οι επαναλήψεις οι οποίες είναι ίσες με τον αριθμό των pixels που ενέχει η εκάστοτε κατάσταση χρήσης και κάθε μία τιμή RGB αποθηκεύεται στον πίνακα και προστίθεται με τις υπόλοιπες του αντίστοιχου χρώματος. Σαν έξοδος του αλγορίθμου προκύπτουν οι συνολικές τιμές R,G,B της κάθε κατάστασης χρήσης οι οποίες στην συνέχεια αποτελούν τις ανεξάρτητες μεταβλητές στις συναρτήσεις γάμμα κάθε υπολογιστή. Η συνολική (μέση) λαμπρότητα της εικόνας προκύπτει από το άθροισμα των λαμπροτήτων των επιμέρους χρωματικών καναλιών.

Μία τροποποίηση του αλγορίθμου με μεγαλύτερη πολυπλοκότητα αλλά ίδια αποτελέσματα ήταν η εξής:

Η μια επανάληψη να ολοκληρώνεται με την εύρεση της RGB τιμής ενός pixel και την ταυτόχρονη είσοδο αυτής της τιμής στις συναρτήσεις γάμμα για την εξαγωγή των λαμπροτήτων κάθε χρωματικού καναλιού του συγκεκριμένου pixel, η οποίες και αποθηκεύονται. Στη συνέχεια εκτελούνται όλες οι επαναλήψεις για το σύνολο των pixel και οι τιμές της λαμπρότητας για κάθε ένα χρωματικό κανάλι (κόκκινο, πράσινο, μπλε) προστίθενται μεταξύ τους για την εύρεση της συνολικής λαμπρότητας κάθε χρωματικού καναλιού της εικόνας. Η συνολική λαμπρότητα προκύπτει πάλι από το άθροισμα των λαμπροτήτων κάθε χρωματικού καναλιού.

Οι περιεκτικότητες των καταστάσεων χρήσης σε κόκκινο πράσινο και μπλε χρώμα παρουσιάζονται στο σχήμα 5.1



Σχήμα 5.1



Βλέπουμε ότι σε εικόνες που ενέχουν αρκετή χρωματική πληροφορία λευκού φωτός οι τιμές R,G,B είναι κοντά στο [255,255,255] ενώ η διαφορά στις τιμές RGB του Gmail και Gmail Dark Mode είναι εμφανής. Επιπλέον οι RGB τιμές του Visual Code Studio είναι οι χαμηλότερες, πράγμα λογικό αφού αυτή η κατάσταση χρήσης είναι η σκοτεινότερη. Επειδή οι καταστάσεις χρήσης Gmail Dark Mode και Visual Code Studio παρουσιάζουν παρόμοια χρωματική πληροφορία συνεχίζουμε την ανάλυση επεξεργαζόμενοι μόνο την κατάσταση χρήσης Visual Code Studio. Τέλος, στην κατάσταση χρήσης Outlook που υπάρχουν αρκετές μπλε χρωματικές αποχρώσεις, η περιεκτικότητα του μπλε χρώματος είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με τις περιεκτικότητες των άλλων δύο χρωμάτων.

Μια παρατήρηση που αξίζει να γίνει σε αυτό το σημείο αφορά την επίδραση του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού. Εκτελώντας τον αλγόριθμο για τα στιγμιότυπα καταστάσεων χρήσης με την λειτουργία νυχτερινού φωτισμού ενεργοποιημένη δεν υπήρχε ουσιαστική διαφορά στις περιεκτικότητες RGB απ' ότι με το φίλτρο ανενεργό ενώ παρατηρώντας τους πίνακες 5.1.3 και 5.1.4 φαίνεται ξεκάθαρα η επίδραση του φίλτρου στην μείωση της μετρούμενης λαμπρότητας που εκπέμπει η οθόνη. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού εφαρμόζεται στην έξοδο (output) της εικόνας δηλαδή στην λαμπρότητα και όχι στην είσοδο (input) δηλαδή εσωτερικά στις τιμές των pixels.

Παρατηρώντας τις συναρτήσεις γάμμα που εξήχθησαν στην προηγούμενη ενότητα με το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού ενεργό και συγκρίνοντας τις με τις αντίστοιχες όταν το νυχτερινό φίλτρο είναι ανενεργό βλέπουμε ότι αλλάζει η μαθηματική σχέση που συνδέει τις τιμές των pixel με την λαμπρότητα, με την μεταβολή δηλαδή του συντελεστή γάμμα και όχι με την μεταβολή της ανεξάρτητης μεταβλητής δηλαδή των τιμών RGB των pixel. Συνεπώς η αλλαγή της θερμοκρασίας χρώματος που επιφέρει η εφαρμογή του φίλτρου γίνεται με βάση την λαμπρότητα των χρωματικών καναλιών και όχι από την μεταβολή των τιμών R,G,B του κάθε pixel.

5.3.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΗΣ

Στους πίνακες 5.3.1,5.3.2,5.3.3,5.3.4 παρουσιάζονται οι λαμπρότητες που προέκυψαν για κάθε χρωματικό κανάλι για κάθε κατάσταση χρήσης καθώς και η συνολική λαμπρότητα κάθε κατάστασης χρήσης τόσο με το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού ανενεργό όσο και ενεργό. Επιπλέον υπολογίστηκε η ποσοστιαία μεταβολή που επιφέρει η εφαρμογή του φίλτρου για κάθε χρωματικό κανάλι καθώς και συνολικά.



Πίνακας 5.3.1

	Luminance	Red Channel Luminance (cd/m ²)					
		Excel	Gmail	Outlook	Python	MS Teams	Matlab
MSI GL65 95D	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	32,39	33,09	29,72	0,49	30,40	32,90
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	33,69	33,45	30,32	0,49	30,80	33,76
	Channel Luminance Difference (%)	<u>4,00</u>	<u>1,07</u>	<u>2,04</u>	<u>-0,59</u>	<u>1,32</u>	<u>2,61</u>
ASUS X550CL	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	32,58	33,49	29,18	0,15	30,03	33,24
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	31,72	31,44	27,86	0,14	28,40	31,81
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-2,64</u>	<u>-6,10</u>	<u>-4,51</u>	<u>-7,54</u>	<u>-5,45</u>	<u>-4,31</u>
LENOVO Y580	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	33,54	34,49	29,97	0,14	30,87	34,22
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	32,68	32,39	28,62	0,13	29,19	32,77
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-2,55</u>	<u>-6,08</u>	<u>-4,51</u>	<u>-3,5</u>	<u>-5,45</u>	<u>-4,25</u>
DELL 5547	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	24,63	25,26	22,27	0,18	22,87	25,08
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	24,11	23,91	21,36	0,17	21,75	24,17
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-2,12</u>	<u>-5,32</u>	<u>-4,08</u>	<u>-2,5</u>	<u>-4,90</u>	<u>-3,65</u>



Πίνακας 5.3.2

	Luminance	Green Channel Luminance (cd/m ²)					
		Excel	Gmail	Outlook	Python	MS Teams	Matlab
MSI GL65 95D	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	98,28	98,13	94,40	1,31	88,71	98,86
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	62,93	61,33	59,57	1,18	56,07	62,33
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-35,97</u>	<u>-37,50</u>	<u>-36,90</u>	<u>-10,26</u>	<u>-36,79</u>	<u>-36,94</u>
ASUS X550CL	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	123,38	123,17	118,06	1,09	110,28	124,18
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	74,29	72,06	69,61	0,67	64,80	73,46
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-39,79</u>	<u>-41,50</u>	<u>-41,04</u>	<u>-38,46</u>	<u>-41,24</u>	<u>-40,85</u>
LENOVO Y580	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	95,51	95,35	91,32	0,77	85,19	96,14
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	58,04	56,24	54,26	0,44	50,38	57,37
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-39,23</u>	<u>-41,02</u>	<u>-40,58</u>	<u>-42,65</u>	<u>-40,86</u>	<u>-40,33</u>
DELL 5547	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	77,38	77,25	74,13	0,78	69,37	77,86
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	46,89	45,55	44,07	0,53	41,17	46,39
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-39,40</u>	<u>-41,04</u>	<u>-40,54</u>	<u>-31,50</u>	<u>-40,65</u>	<u>-40,43</u>



	Luminance	Blue Channel Luminance (cd/m ²)					
		Excel	Gmail	Outlook	Python	MS Teams	Matlab
MSI GL65 95D	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	26,59	27,16	27,32	0,43	24,76	26,30
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	10,38	10,32	10,43	0,20	9,47	10,09
	Channel Luminance Difference (%)	-60,98	-62,02	-61,83	-54,38	-61,74	-61,63
ASUS X550CL	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	20,61	21,05	21,17	0,35	19,21	20,39
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	7,30	7,25	7,34	0,10	6,61	7,08
	Channel Luminance Difference (%)	-64,61	-65,56	-65,35	-72,60	-65,61	-65,29
LENOVO Y580	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	18,63	19,09	19,22	0,15	17,14	18,39
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	5,64	5,61	5,66	0,08	5,21	5,50
	Channel Luminance Difference (%)	-69,74	-70,63	-70,55	-47,50	-69,62	-70,08
DELL 5547	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	21,56	22,00	22,13	0,41	20,13	21,34
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	7,79	7,74	7,83	0,14	7,10	7,57
	Channel Luminance Difference (%)	-63,87	-64,80	-64,62	-66,24	-64,73	-64,50

Πίνακας 5.3.3



Πίνακας 5.3.4

	Luminance	Total Luminance (cd/m ²)					
		Excel	Gmail	Outlook	Python	MS Teams	Matlab
MSI GL65 95D	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	157,26	158,38	151,44	2,23	143,87	158,05
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	107,00	105,10	100,32	1,86	96,34	106,18
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-31,96</u>	<u>-33,64</u>	<u>-33,76</u>	<u>-16,61</u>	<u>-33,03</u>	<u>-32,82</u>
ASUS X550CL	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	176,58	177,71	168,41	1,59	159,52	177,80
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	113,31	110,75	104,80	0,94	99,81	112,34
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-35,83</u>	<u>-37,68</u>	<u>-37,77</u>	<u>-41,15</u>	<u>-37,43</u>	<u>-36,82</u>
LENOVO Y580	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	147,68	148,92	140,51	1,07	133,20	148,75
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	96,36	94,23	88,54	0,68	84,78	95,64
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-34,75</u>	<u>-36,72</u>	<u>-36,99</u>	<u>-36,28</u>	<u>-36,35</u>	<u>-35,71</u>
DELL 5547	Channel Luminance (Night Vision Off) (cd/m ²)	123,58	124,51	118,53	1,37	112,38	124,28
	Channel Luminance (Night Vision On) (cd/m ²)	78,79	77,21	73,27	0,87	70,03	78,13
	Channel Luminance Difference (%)	<u>-36,24</u>	<u>-37,99</u>	<u>-38,19</u>	<u>-36,59</u>	<u>-37,69</u>	<u>-37,14</u>

Παρατηρώντας τους πίνακες της λαμπρότητας κάθε χρωματικού καναλιού εξάγουμε τα εξής χρήσιμα συμπεράσματα:

- Στον πίνακα του κόκκινου καναλιού βλέπουμε ότι το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού μεταβάλλει ελάχιστα την λαμπρότητα. Οι αυξομειώσεις που παρατηρούνται από υπολογιστή σε υπολογιστή κρίνονται ως ανεπαίσθητες από φωτιστικής αξίας καθώς αφορούν τιμές λαμπρότητας τάξης μεγέθους ενός δεκαδικού μετά την υποδιαστολή. Επομένως μπορούμε να φτάσουμε στο συμπέρασμα ότι κατά την εφαρμογή του φίλτρου το κανάλι χρώματος κόκκινου παραμένει σχετικά αναλλοίωτο. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί και από το γεγονός ότι η ενέργεια ακτινοβολίας στα μήκη κύματος του κόκκινου



χρώματος είναι η χαμηλότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα άρα το φίλτρο έχει σχεδιασθεί ώστε να μην μεταβάλλει αυτή την ήδη ακίνδυνη ακτινοβολία.

- Στον πίνακα του πράσινου και μπλε χρώματος έχουμε μια σαφή μεταβολή και ένα ξεκάθαρο συμπέρασμα σχετικά με το πως ενεργεί το φίλτρο. Αρχικά στο πράσινο κανάλι βλέπουμε ότι υπάρχει μια ομοιογένεια στην πτώση των λαμπρότητων καθώς όλες οι λαμπρότητες μειώθηκαν κατά περίπου 35% με 40% με την μικρότερη μείωση να παρατηρείται στην κατάσταση χρήσης Visual Code Studio. Αντίστοιχα, στο μπλε κανάλι οι μειώσεις είναι πάλι ομοιογενείς αλλά ακόμα πιο έντονες καθώς στις καταστάσεις χρήσεις με έντονο το λευκό χρώμα επιφέρουν μειώσεις από 60% μέχρι 70% ενώ στο Visual Code Studio παρουσιάζουν μια διακύμανση από 50% μέχρι 70%. Βλέπουμε λοιπόν το πόσο επιδραστικά λειτουργεί το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού στις περιπτώσεις που υπάρχει ανάγκη να λειτουργήσει και να μειώσει την ακτινοβολία που μπορεί να προκύψει από το μπλε χρώμα. Επομένως στα επί μέρους χρωματικά κανάλια το φίλτρο αφήνει ακέραιο το κανάλι του κόκκινου χρώματος ενώ μεταβάλλει τα κανάλια του πράσινου και μπλε χρώματος κατά τρόπο ανάλογο της ενέργειας ακτινοβολίας των μηκών κύματος των αντίστοιχων χρωμάτων. Έτσι, στο χαμηλής ενέργειας κόκκινο κανάλι δεν μεταβάλλει ουσιαστικά τις τιμές, στο υψηλότερης ενέργειας πράσινο κανάλι τις μειώνει κατά 35-40% ενώ στο υψηλότερης ενέργειας μπλε κανάλι μεταβάλλει ακόμα πιο πολύ φτάνοντας στο 60-70%
- Στον πίνακα 5.3.4 που αφορά την μεταβολή της ολικής λαμπρότητας των καταστάσεων χρήσης βλέπουμε ότι πάλι ακολουθείται το μοτίβο της ομοιογενούς μείωσης με την συνολική λαμπρότητα να μειώνεται από 30% μέχρι 40% σε κάθε υπολογιστή.

Τα επαναλαμβανόμενα μοτίβα μείωσης της ολικής λαμπρότητας ανεξαρτήτως το μοντέλο του υπολογιστή καθώς και τα μοτίβα μείωσης των επί μέρους χρωματικών καναλιών μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά μειώνει το μπλε χρώμα και κατ' επέκταση το μπλε φως ενώ παράλληλα επιδρά στις χρωματικές συνθήκες που απαιτείται να επιδράσει σύμφωνα με την θεωρητική του λειτουργία.

5.4. ΟΔΗΓΙΑ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΠΕΡΙ ΟΡΙΩΝ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΤΕΧΝΗΤΗ ΟΠΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το ευρωπαϊκό συμβούλιο έχουν την δυνατότητα να θεσπίζουν με οδηγίες, ελάχιστες προδιαγραφές για την προώθηση βελτιώσεων ιδίως στο εργασιακό περιβάλλον, ώστε να διασφαλίζεται καλύτερο επίπεδο προστασίας της υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων. Μία από αυτές τις οδηγίες αφορά την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που συνδέονται με την τεχνητή οπτική ακτινοβολία, λόγω των επιπτώσεων της στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων και ιδίως των βλαβών που προκαλεί στο δέρμα και στα μάτια. Πρόκειται για την οδηγία 2006/25/EK του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και συμβουλίου περί των ελαχίστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (τεχνητή οπτική ακτινοβολία) [52]. Στην οδηγία προτείνονται οριακές τιμές έκθεσης σε οπτική ακτινοβολία οι οποίες βασίζονται άμεσα σε διαπιστωμένες επιπτώσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες. Η τήρηση των ορίων αυτών διασφαλίζει ότι οι εργαζόμενοι που εκτίθενται σε τεχνητές πηγές οπτικής ακτινοβολίας προστατεύονται από όλες τις γνωστές δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία [52].

Μέσα στην οδηγία γίνεται αναφορά στον «κίνδυνο κυανού φωτός» δηλαδή στον βιολογικό κίνδυνο που αντιμετωπίζει ένας εργαζόμενος όταν εκτίθεται σε φωτεινή πηγή που εκπέμπει μπλε φως όπως είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Οι τιμές έκθεσης που σχετίζονται με βιολογικές επιπτώσεις εκ της οπτικής ακτινοβολίας κυανού φωτός δύνανται να προσδιοριστούν από τους κάτωθι τύπους:

$$L_B = \int_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} L_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$L_B = \sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} L_\lambda \cdot B(\lambda) \delta\lambda \quad (2)$$

Η σχέση (2) βρίσκει εφαρμογή όταν οι τιμές είναι διακριτές. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι η περιοχή μήκους κύματος από 300 nm έως 700 nm καλύπτει μέρος του UVB, όλο το UVA και το μεγαλύτερο μέρος της ορατής ακτινοβολίας. Ωστόσο ο συναφής κίνδυνος αναφέρεται ως «κίνδυνος κυανού φωτός».



Ακριβολογώντας, το κυανό φως καλύπτει μόνον την περιοχή μήκους κύματος από περίπου 400 έως 500 nm . Από την στιγμή που η φωτεινή πηγή του πειράματος μας είναι οθόνες υπολογιστών, τότε η ακτινοβολία που εκπέμπεται στα μάτια των εργαζομένων μπορεί να είναι μόνο οπτική ακτινοβολία. Η ορατή ακτινοβολία καλύπτει το μήκος κύματος από 380 έως 780 nm και οι σχέσεις που εν τέλει θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του «κινδύνου κυανού φωτός» από οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι οι κάτωθι:

$$L_B = \int_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=780\text{nm}} L_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

$$L_B = \sum_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=780\text{nm}} L_\lambda \cdot B(\lambda) \delta\lambda \quad (4)$$

Στις άνωθεν μαθηματικές σχέσεις πρέπει να ορίσουμε τις έννοιες $B(\lambda)$, L_λ , $L_\lambda(\lambda)$, L_B :

- $B(\lambda)$: Η φασματική στάθμιση που λαμβάνει υπόψη την εξάρτηση από το μήκος κύματος των φωτοχημικών βλαβών που προκαλούνται στα μάτια από την ακτινοβολία κυανού (μπλε) φωτός. Είναι μέγεθος άνευ διαστάσεων και οι τιμές του αναγράφονται μέσα στην οδηγία [2].
- $L_\lambda, L_\lambda(\lambda)$: Η φασματική ακτινοβολήση της πηγής. Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά στερακτίνο ανά νανόμετρο [2].
- L_B : Η ενεργός ακτινοβολήση («κυανό φως»): Υπολογιζόμενη ακτινοβολήση φασματικώς σταθμισμένη με τη στάθμιση $B(\lambda)$. Εκφράζεται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο ανά στερακτίνο [2].

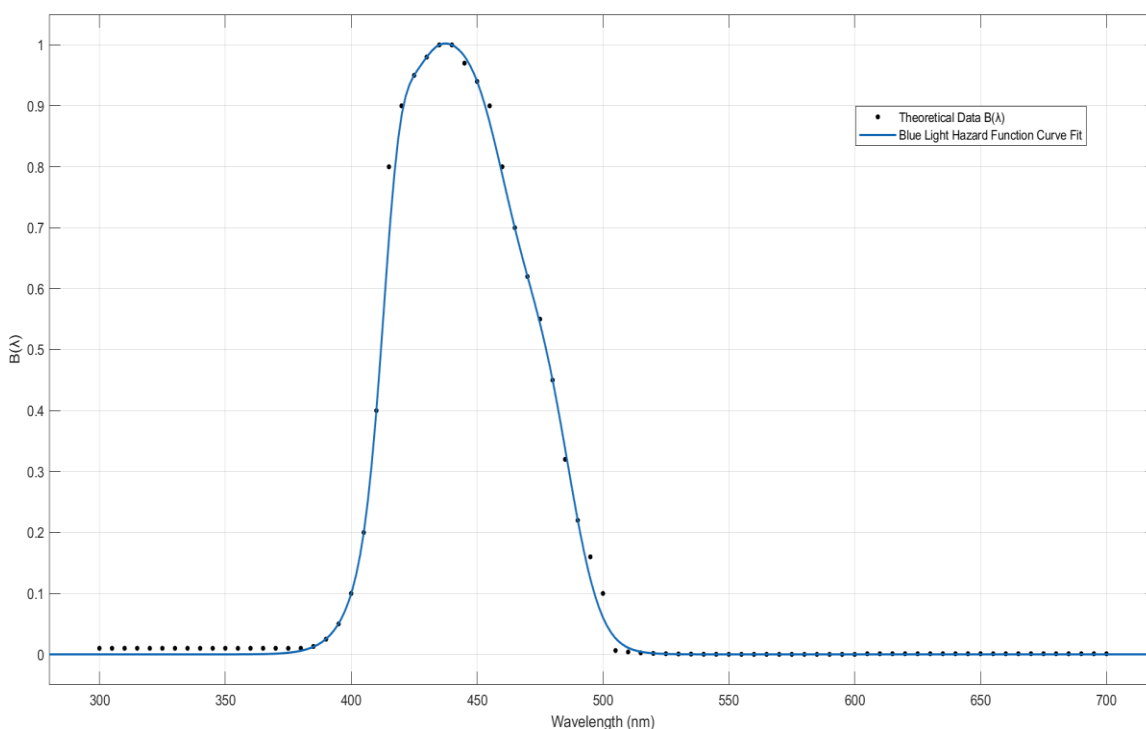
Η οδηγία αναγράφει τιμές για την φασματική στάθμιση $B(\lambda)$ με βάση το μήκος κύματος λ . Τα διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος για τα οποία δίνονται τιμές είναι μεγάλα. Επομένως στα θεωρητικά δεδομένα των τιμών της φασματικής στάθμισης χρησιμοποιήσαμε εκ νέου την εφαρμογή Curve Fitting στο λογισμικό μαθηματικής επεξεργασίας MATLAB προκειμένου να εξάγουμε την μαθηματική σχέση μεταξύ της $B(\lambda)$ και του μήκους κύματος.



Αυτή προέκυψε ως υπέρθεση 5 συναρτήσεων Gauss με συντελεστή αυτό-συσχέτισης $R^2=0,99861$, πράγμα που σημαίνει ότι το fitting της συνάρτησης είναι υψηλής ποιότητας. Ακολουθούν η μαθηματική της έκφραση καθώς και το γράφημά της.

$$B(\lambda) = 6.737 \times 10^{-4} + 0.2361 \cdot \exp\left[-\frac{(\lambda - 416.136)^2}{20.276}\right] + 0.4443 \cdot \exp\left[-\frac{(\lambda - 423.378)^2}{215.925}\right] + 0.8606 \cdot \exp\left[-\frac{(\lambda - 447.663)^2}{804.406}\right] + 0.1505 \cdot \exp\left[-\frac{(\lambda - 480.662)^2}{118.811}\right] + 0.0908 \cdot \exp\left[-\frac{(\lambda - 471.588)^2}{2697.525}\right]$$

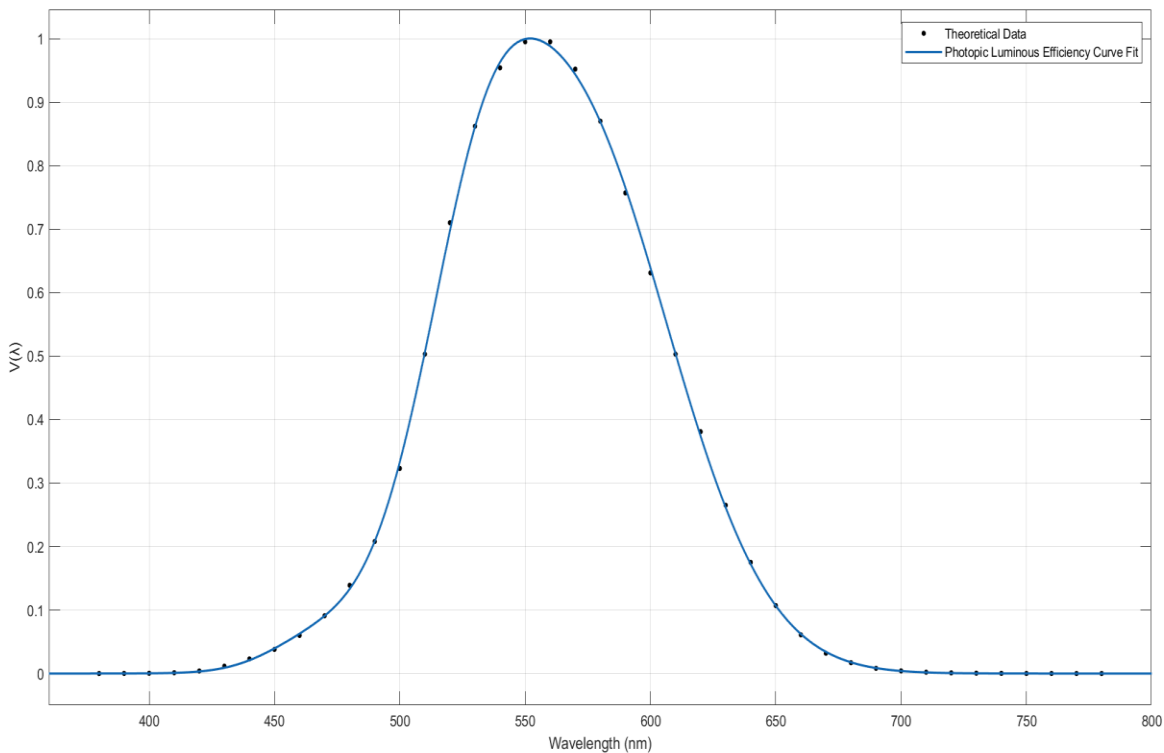
(5)



Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα θεωρητικά δεδομένα της συνάρτησης $V(\lambda)$ δηλαδή της καμπύλης ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού σε συνθήκες φωτισμού.

Τα θεωρητικά δεδομένα της $V(\lambda)$, παρουσιάζουν μεγάλα διαστήματα στα μήκη κύματος για τα οποία δίνονται τιμές της συνάρτησης [53]. Επομένως χρειάστηκε η μαθηματική μοντελοποίηση της καμπύλης η οποία και πραγματοποιήθηκε με συντελεστή αυτό-συσχέτισης $R^2=0,99903$. Ακολουθούν το γράφημα της καμπύλης και η μαθηματικής της διατύπωση.

$$V(\lambda) = 1,019 \cdot e^{-285,4(\lambda-0,559)^2} \quad (6)$$



Στο παράρτημα II βρίσκονται αναλυτικά όλες οι τιμές για την $B(\lambda)$, $V(\lambda)$ για κάθε ένα μήκος κύματος από 380 έως 780 nm.

Με βάση λοιπόν

- τις εξισώσεις (4),(5),(6) και τις τιμές αυτών σε κάθε ένα μήκος κύματος ορατού φωτισμού
- τα φάσματα των χρωματικών patches κόκκινου, πράσινου και μπλε χρώματος που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία της ενότητας 4.3.3
- τις τιμές λαμπρότητας που ευρέθησαν για κάθε κατάσταση χρήσης στην ενότητα 5.3.3

είμαστε σε θέση να προχωρήσουμε στην ποσοτικοποίηση του «κινδύνου μπλε φωτός».



5.5. ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΘΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΥΡΕΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ

5.5.1. ΕΥΡΕΣΗ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

Για την αριθμητική εύρεση του «κινδύνου» μπλε φωτός και αφού έχουμε βρει τις τιμές της λαμπρότητας που εκπέμπει κάθε κατάσταση χρήσης για κάθε υπολογιστή, πρέπει πρωτίστως να βρούμε το φάσμα εκπομπής κάθε κατάστασης χρήσης για κάθε υπολογιστή εκφρασμένο σε $W m^{-2} nm^{-1}$. Από την στιγμή που υπάρχουν τα φάσματα των χρωματικών patches με τιμές RGB [255,0,0],[0,255,0],[0,0,255] και η περιεκτικότητα σε RGB κάθε κατάστασης χρήσης μπορούμε να συνθέσουμε το φάσμα εκπομπής ως εξής:

1. Διαιρούμε την τιμή RGB κάθε χρωματικού καναλιού κάθε κατάστασης χρήσης με την τιμή RGB 255. Εάν δηλαδή μία κατάσταση χρήσης έχει RGB τιμή [238,240,245] τότε κάθε μία από αυτές τις τιμές διαιρείται με το 255 και προκύπτουν τρεις συντελεστές, ένας για κάθε βασικό χρώμα
2. Το αποτέλεσμα της κάθε διαίρεσης είναι ο συντελεστής με τον οποίο πολλαπλασιάζονται οι τιμές του μετρούμενου φάσματος του αντίστοιχου χρωματικού patch για κάθε ένα μήκος κύματος από 380 έως 780 nm.
3. Τα αποτελέσματα του πολλαπλασιασμού και για τα τρία χρώματα στην συνέχεια προστίθενται και το αποτέλεσμα της πρόσθεσης αυτών πολλαπλασιάζεται με τις τιμές της καμπύλης ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού $V(\lambda)$ για κάθε ένα μήκος κύματος εκφρασμένο σε $W m^{-2} nm^{-1}$.
4. Το άθροισμα αυτών των τιμών στα μήκη κύματος 380-780 nm αποτελεί την φασματική ακτινοβολία κάθε κατάστασης χρήσης εκφρασμένης σε $W m^{-2}$

**Πίνακας 5.5.1. Φασματικές Ακτινοβολήσεις με λειτουργία νυχτερινού φωτισμού απενεργοποιημένη**

Computer Models	Spectral Irradiance (W/m ²)					
	Excel	Gmail	Outlook	Python	MS Teams	Matlab
MSI GL659SD	0,214385	0,215041	0,210781	0,033827	0,206265	0,214872
ASUS X550cl	0,311236	0,312184	0,305901	0,049096	0,299448	0,311968
LENOVO Y580	0,243353	0,244204	0,239025	0,038479	0,23431	0,243958
DELL 5547	0,197119	0,197828	0,193909	0,031211	0,189804	0,197537

Πίνακας 5.5.2. Φασματικές Ακτινοβολήσεις με λειτουργία νυχτερινού φωτισμού ενεργοποιημένη

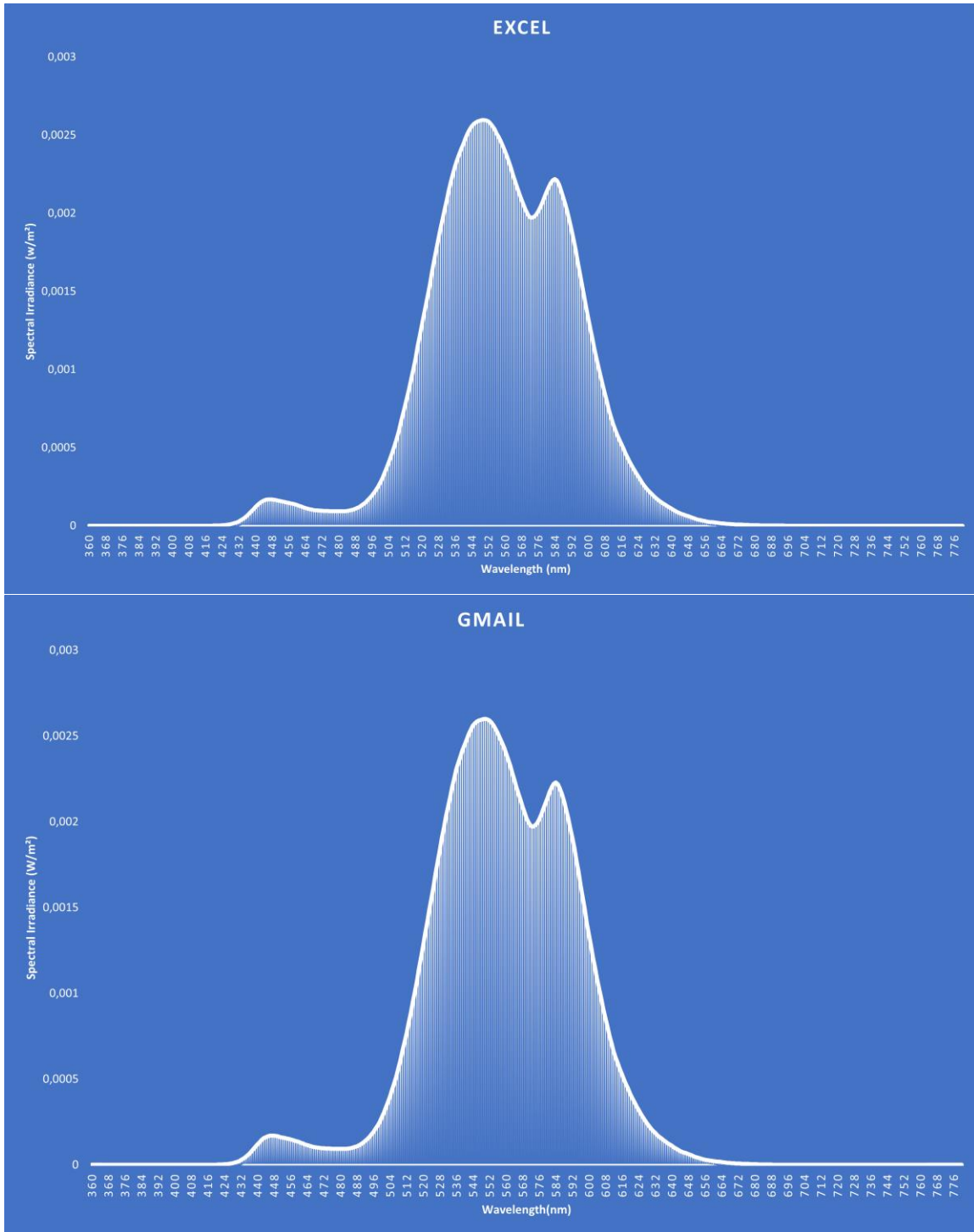
Computer Models	Spectral Irradiance (W/m ²)					
	Excel	Gmail	Outlook	Python	MS Teams	Matlab
MSI GL659SD	0,152414	0,151131	0,148016	0,023902	0,145228	0,151872
ASUS X550cl	0,211491	0,209772	0,205682	0,03324	0,201592	0,210653
LENOVO Y580	0,166911	0,165648	0,162189	0,026353	0,159256	0,166291
DELL 5547	0,135966	0,13492	0,13225	0,021445	0,129694	0,135422

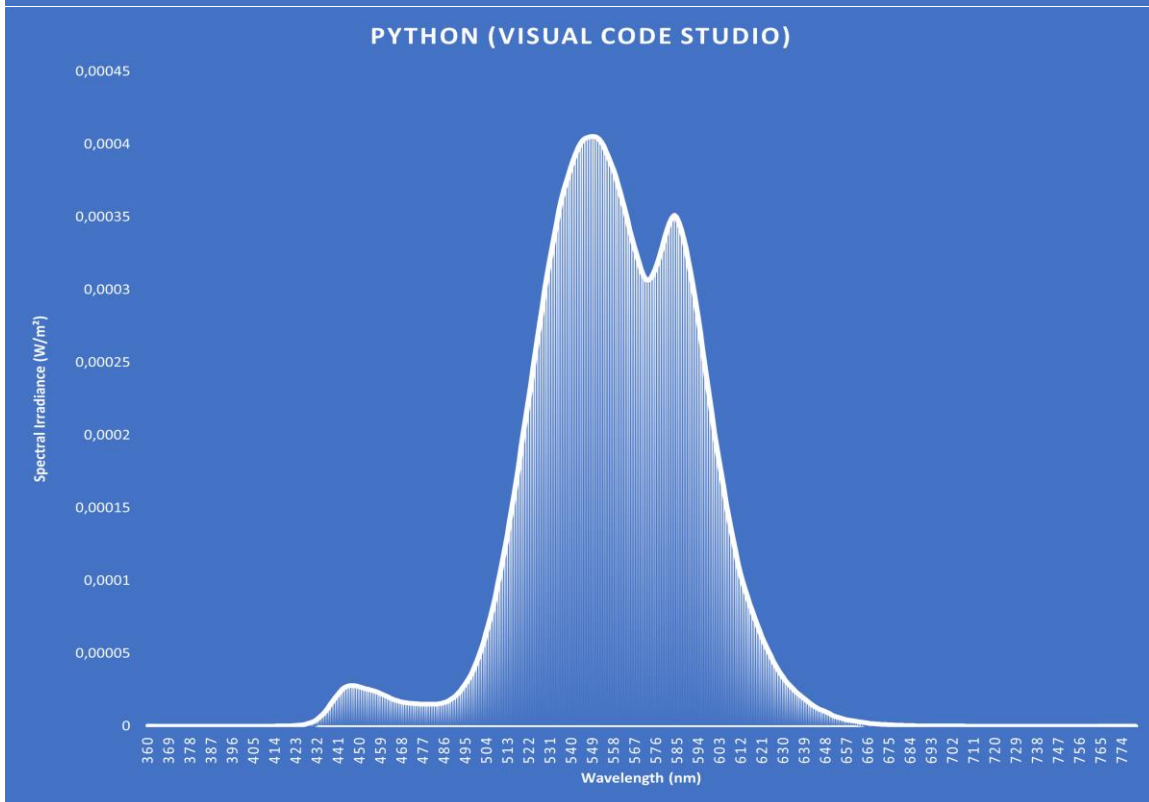
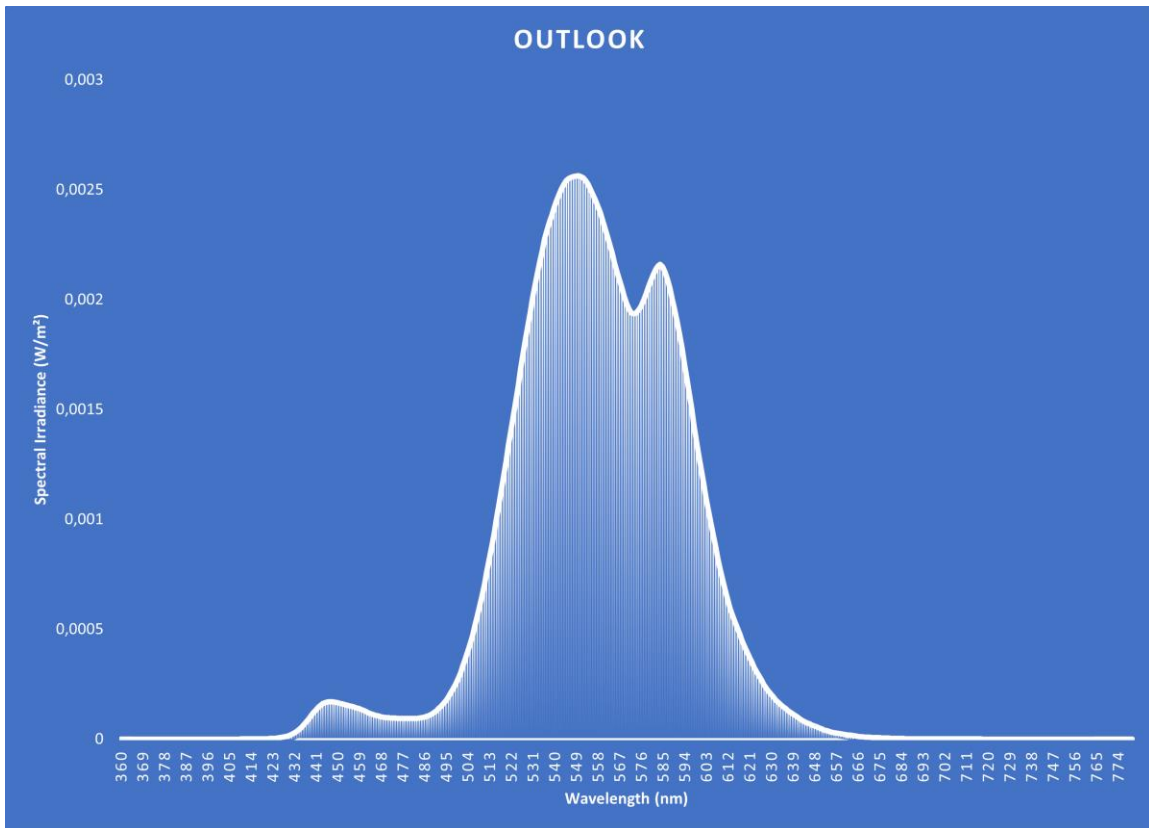
Παρατηρούμε, όπως είναι λογικό, ότι μειώνονται όλες οι φασματικές ακτινοβολήσεις ανεξαρτήτως κατάστασης χρήσης και υπολογιστή άρα εκπέμπεται λιγότερη ενέργεια ανά μήκος κύματος όταν το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού είναι ενεργοποιημένο. Ακολουθούν στην επόμενη σελίδα τα φάσματα για όλες τις καταστάσεις χρήσης ενδεικτικά για τον υπολογιστή MSI καθότι,

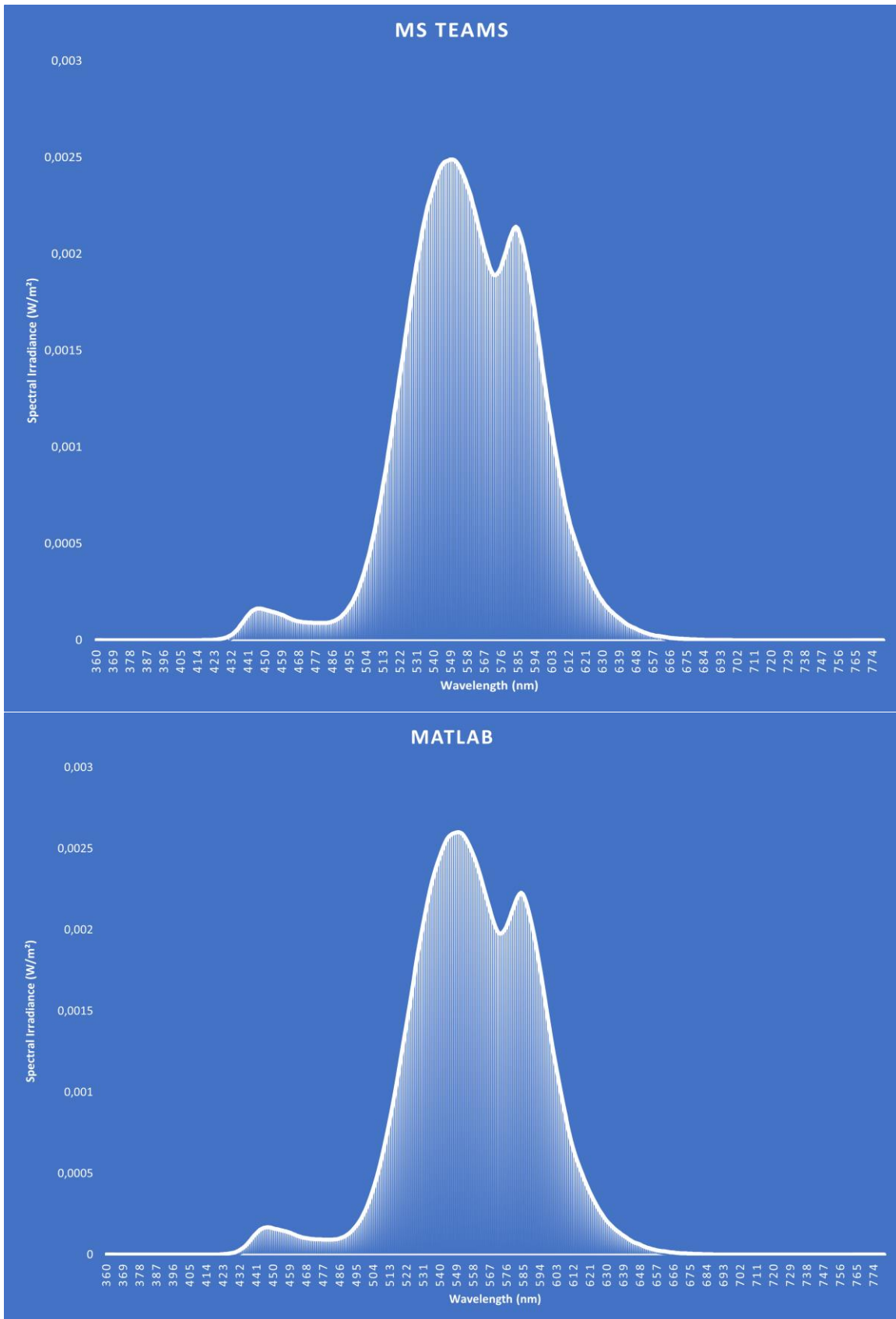


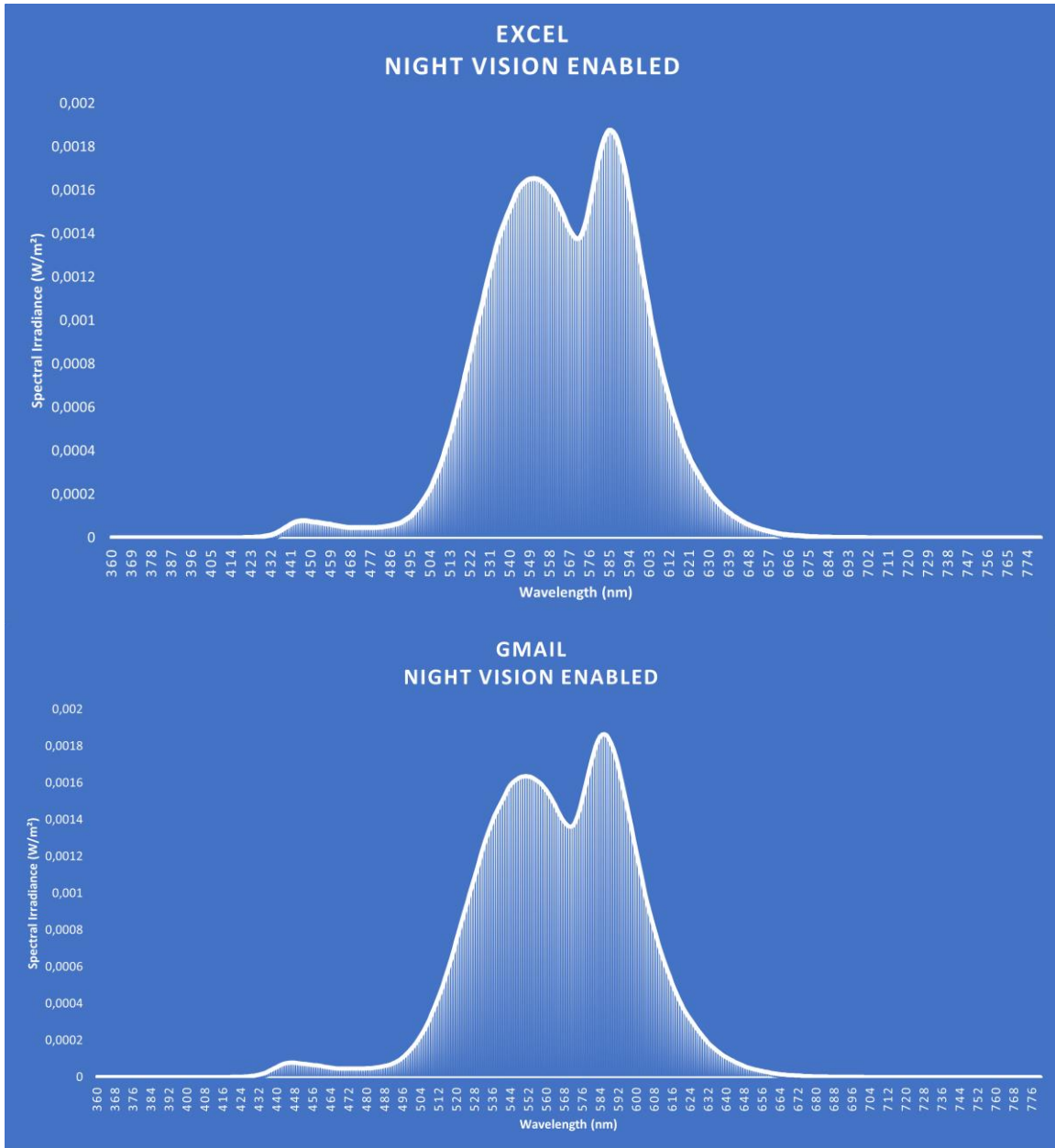
όπως αποδείξαμε, το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού επιδρά με τον ίδιο τρόπο σε όλους τους υπολογιστές.

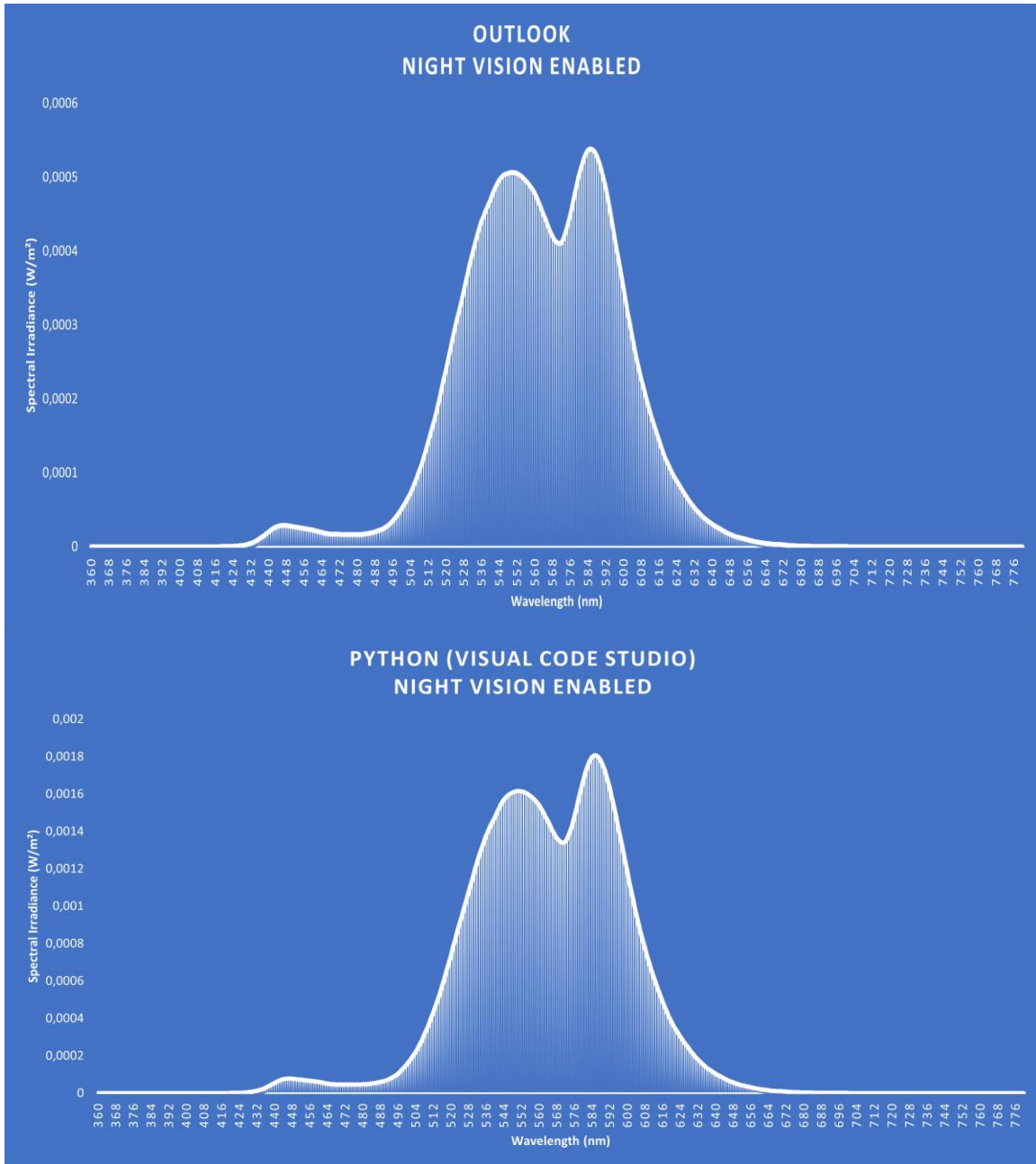
Από την μελέτη των φασμάτων γίνεται εμφανής ο τρόπος με τον οποίο το φίλτρο μεταβάλλει την ενέργεια φάσματος ανάλογα με το εύρος μήκους κύματος μέσα στο οποίο εμφανίζεται κάθε χρώμα. Έτσι στην περιοχή 400-500 nm δηλαδή εκεί που εμφανίζεται το μπλε φως βλέπουμε το εμβαδό που περικλείεται από την καμπύλη να μειώνεται ενώ παράλληλα το μέγιστο που παρουσιάζεται σε αυτή την περιοχή κοντά στα 440 nm και εκφράζεται σε $W m^{-2} nm^{-1}$, μειώνεται επίσης. Επιπλέον χωρίς την λειτουργία του φίλτρου, το μέγιστο στην περιοχή ακτινοβολίας πράσινου φωτός βλέπουμε ότι είναι εμφανώς μεγαλύτερο από αυτό της περιοχής ακτινοβολίας κόκκινου φωτός ενώ όταν αυτό είναι ενεργοποιημένο συμβαίνει το αντίθετο με την ενέργεια φάσματος του πράσινου φωτός να είναι εμφανώς μικρότερη από την ήδη χαμηλή ενέργεια ακτινοβολίας κόκκινου φωτός. Τα συμπεράσματα αυτά συμφωνούν με τον τρόπο που αποδείξαμε ότι επιδρά η ενεργοποίηση του φίλτρου στην λαμπρότητα των χρωματικών καναλιών δηλαδή διατηρώντας την ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας κόκκινου φωτός σταθερή και επιδρώντας με όλο και πιο έντονο τρόπο στις περιοχές ακτινοβολίας υψηλότερης ενέργειας.

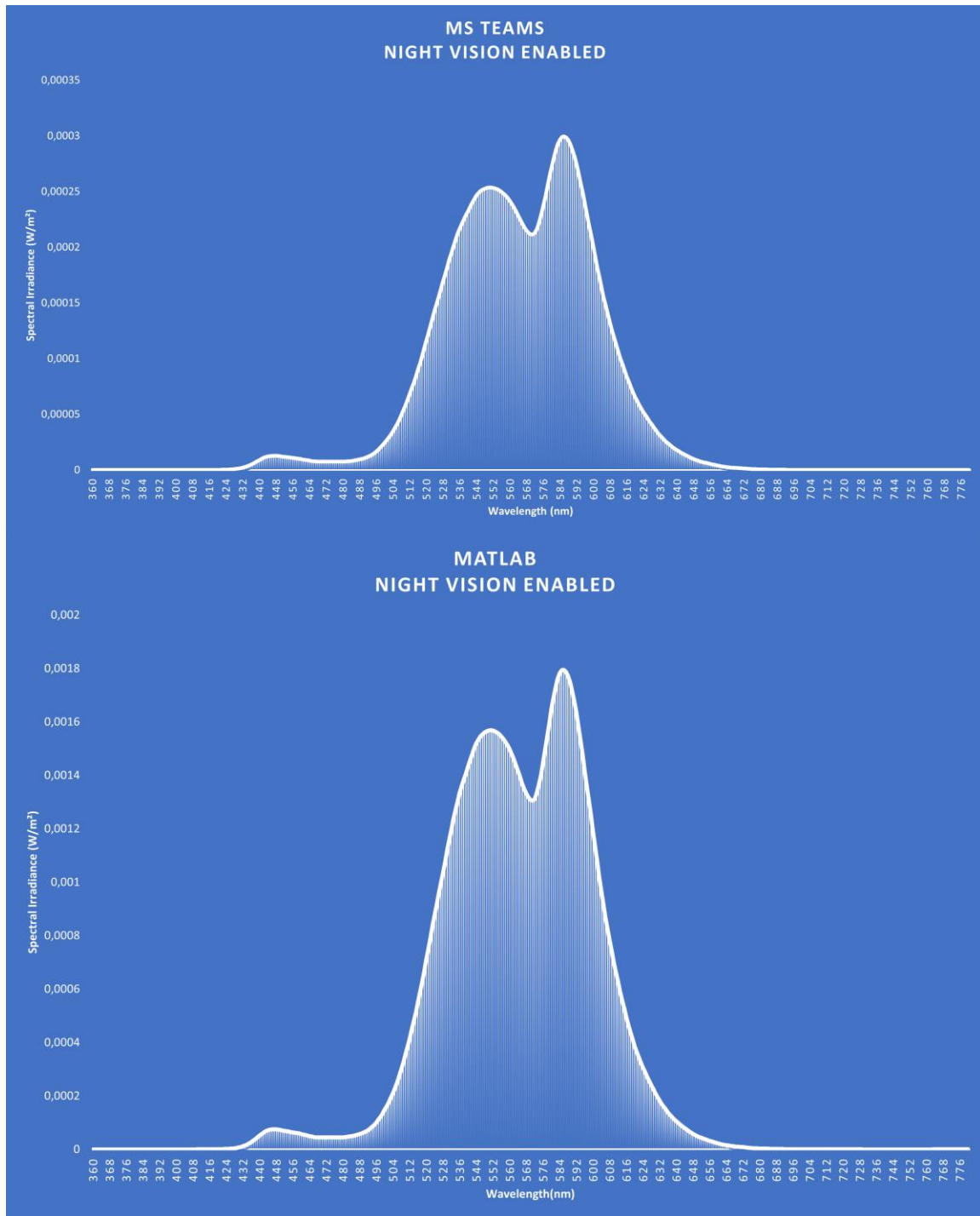














5.5.2. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΥΡΕΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΠΛΕ ΦΩΤΟΣ

Στην προηγούμενη παράγραφο αναλύσαμε τον τρόπο με τον οποίο συνθέσαμε το φάσμα εκπομπής εκφρασμένο σε $W m^{-2} nm^{-1}$ κάθε κατάστασης χρήσης και για κάθε υπολογιστή. Όπως προκύπτει από την εξίσωση (4) της παραγράφου 5.4 προκειμένου να συνεχίσουμε την ποσοτική ανάλυση για την εύρεση του κινδύνου μπλε φωτός πρέπει πρωτίστως να εκφράσουμε την φασματική ακτινοβολή των υπολογιστών σε $W m^{-2} nm^{-1} sr^{-1}$.

Αυτό πρακτικά απαιτεί την φασματική διόρθωση του φάσματος που συνθέσαμε δηλαδή τον πολλαπλασιασμό των τιμών του για κάθε ένα μήκος κύματος με τον συντελεστή φασματικής διόρθωσης της λαμπρότητας (conversion factor). Σύμφωνα με την CIE [54], ο ορισμός των φωτομετρικών μεγεθών στα οποία συμπεριλαμβάνεται και η λαμπρότητα, βασίζεται στην φασματική απόκριση του ανθρώπου όπως αυτή ορίζεται μέσω της καμπύλης $V(\lambda)$. Κάθε φωτομετρικό μέγεθος οφείλει να μετράται μέσω αισθητήρων οι οποίοι θα έχουν φασματική απόκριση όμοια με την καμπύλη $V(\lambda)$. Κάτι τέτοιο πρακτικά είναι αρκετά δύσκολο και στην πραγματικότητα σε όλα τα όργανα μέτρησης η φασματική απόκριση του αισθητήρα διαφέρει λίγο έως πολύ από την πρότυπη απόκριση. Για τον σκοπό αυτό έχει θεσπιστεί από την CIE η μεθοδολογία φασματικής διόρθωσης των μετρήσεων. Η μέθοδος της φασματικής διόρθωσης που ακολουθήθηκε περιγράφεται από την σχέση (7) η οποία ορίζεται από την αντίστοιχη οδηγία της CIE [55].

$$FR = \frac{\int SA(\lambda) \cdot s(\lambda) \cdot d\lambda \cdot \int SR(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int SA(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \cdot \int SR(\lambda) \cdot s(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (7)$$

όπου:

- **FR** : Ο συντελεστής φασματικής διόρθωσης λαμπρότητας για την πηγή R
- **SA(λ)** : Το φάσμα της πηγής βαθμονόμησης
- **SR(λ)** : Το φάσμα της υπό μέτρηση πηγής
- **s(λ)** : Η φασματική απόκριση του συστήματος λήψης
- **V(λ)** : Η φασματική απόκριση του ανθρώπου - CIE standard observer

Στις συνθήκες της δικής μας πειραματικής διάταξης ο συντελεστής διόρθωσης μεταφράζεται ως ο λόγος της συνολικής λαμπρότητας κάθε κατάστασης χρήσης προς το προκύπτον άθροισμα των φασμάτων για κάθε μήκος κύματος δηλαδή με την τιμή της φασματικής ακτινοβολή εκφρασμένης σε $W m^{-2}$. Οι τιμές των συντελεστών διόρθωσης για κάθε κατάσταση χρήσης, για κάθε υπολογιστή και για τις δύο λειτουργίες του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού βρίσκονται στους πίνακες 5.5.3 και 5.5.4.



Πίνακας 5.5.3. Συντελεστές διόρθωσης με λειτουργία νυχτερινού φωτισμού ανενεργή

	MSI GL659SD	ASUS X550CL	LENOVO Y580	DELL 5547
<i>Excel</i>	733,5521	567,344	606,8462	626,9071
<i>Gmail</i>	736,4977	569,2419	609,8329	629,3936
<i>Outlook</i>	718,4881	550,5217	587,8465	611,2856
<i>Python</i>	66,02542	32,36751	27,71784	43,98456
<i>MS Teams</i>	697,4932	532,7136	568,4865	592,0831
<i>Matlab</i>	735,5638	569,9368	609,7412	629,1558

Πίνακας 5.5.4. Συντελεστές διόρθωσης με λειτουργία νυχτερινού φωτισμού ενεργή

	MSI GL659SD	ASUS X550CL	LENOVO Y580	DELL 5547
<i>Excel</i>	702,0098	535,7724	577,3183	579,4804
<i>Gmail</i>	695,3893	527,9741	568,881	572,2288
<i>Outlook</i>	677,7499	509,5481	545,91	554,0222
<i>Python</i>	77,92238	28,13523	29,49865	39,84218
<i>MS Teams</i>	663,4014	495,0972	532,3388	539,9285
<i>Matlab</i>	699,1662	533,2905	575,1148	576,9231

Κατόπιν, με τους συντελεστές διόρθωσης γνωστούς μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε το φάσμα εκφρασμένο σε $W m^{-2} nm^{-1}$ με τους αντίστοιχους συντελεστές διόρθωσης και να εκφράσουμε κατά αυτόν τον τρόπο το φάσμα σε $W m^{-2} nm^{-1} sr^{-1}$. Αυτό το φάσμα είναι η ενεργός ακτινοβολία της πηγής και οι τιμές της σε κάθε μήκος κύματος είναι αυτές που υπεισέρχονται στην εξίσωση (4) για τον προσδιορισμό του κινδύνου μπλε φωτός από την στιγμή που όλες οι μαθηματικές εκφράσεις της εξίσωσης (4) είναι γνωστές.

Η ενεργός ακτινοβολία της πηγής πολλαπλασιασμένη με τις τιμές της συνάρτησης $B(\lambda)$ και το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού, αθροισμένο για κάθε μήκος κύματος μεταξύ 380 και 780 nm



δίνουν τις τιμές για τον κίνδυνο μπλε φωτός. Στην ευρωπαϊκή οδηγία αναφέρεται ως οριακή τιμή έκθεσης για χρόνο έκθεσης $t > 10.000s$ η τιμή $L_B = 100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ για το εύρος 300 έως 700 nm. Αυτή είναι και η τιμή προς σύγκριση με τα αποτελέσματα του αλγορίθμου μας καθώς αναφερόμαστε σε εργαζομένους των οποίων ο χρόνος έκθεσης σε ακτινοβολία μπλε φωτός είναι το εργασιακό οκτώωρο δηλαδή η τιμή $t = 28.800s$.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον κίνδυνο μπλε φωτός, για τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε την συντομογραφία BLH δηλαδή Blue Light Hazard παρουσιάζονται στο πίνακα 5.5.5 ενώ για τον υπολογιστή MSI τα φάσματα της ενεργούς ακτινοβολίας σταθμισμένης με την $B(\lambda)$ παρουσιάζονται στις σελίδες 105-110.

Πίνακας 5.5.5

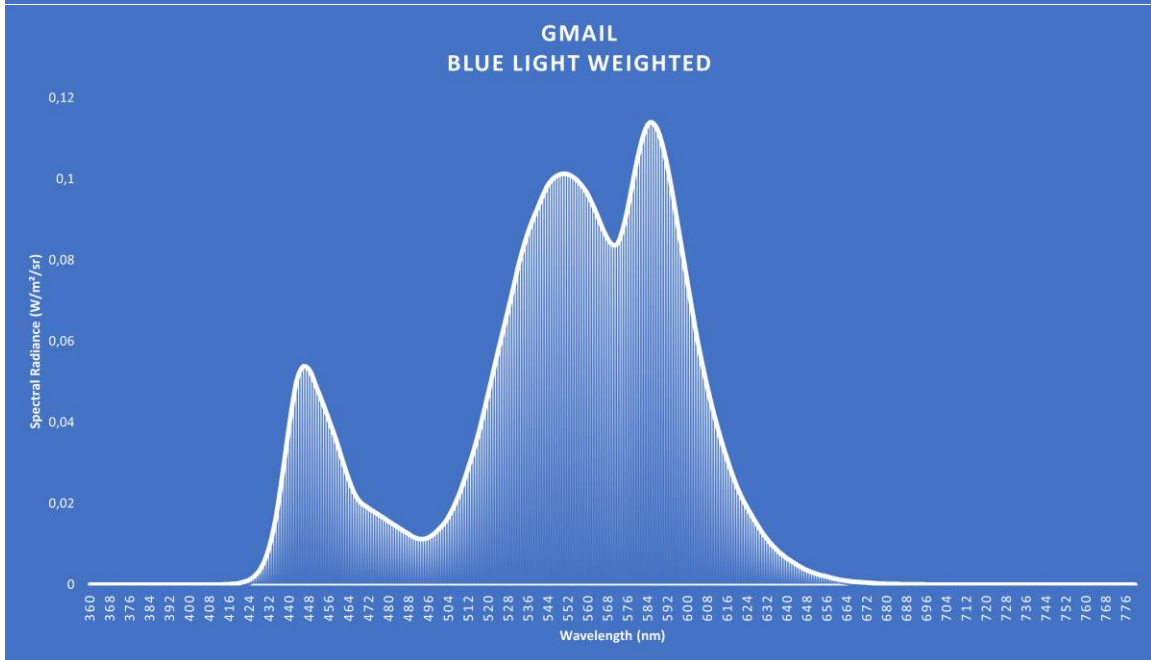
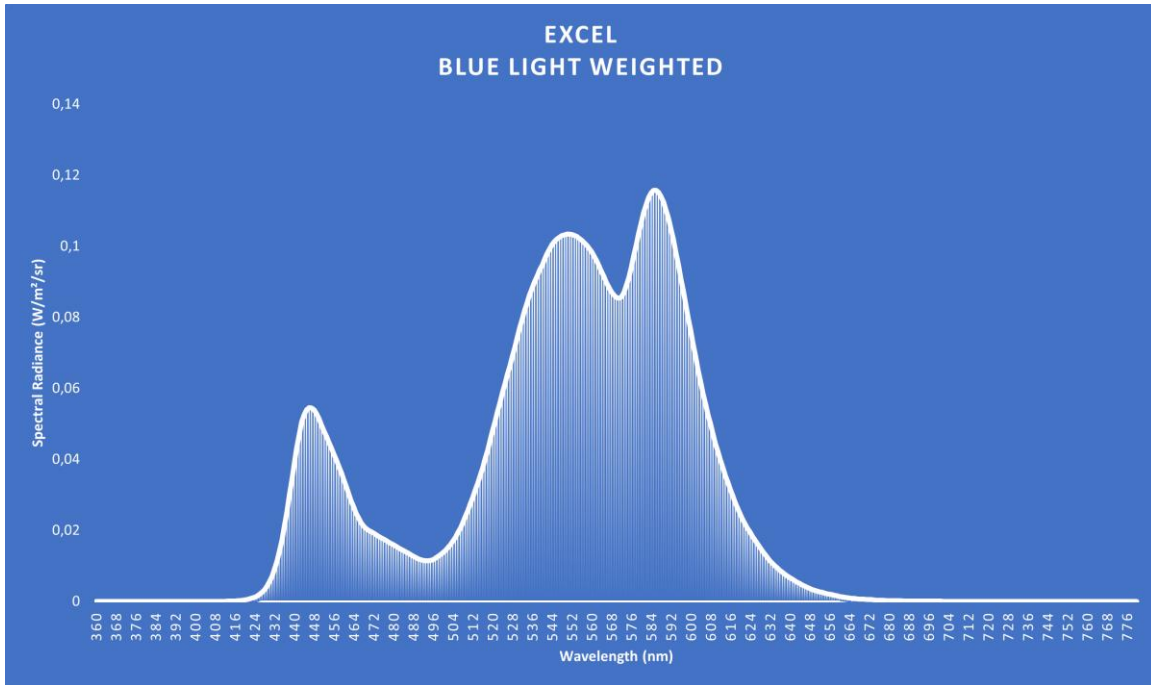
Computers		Excel	Gmail	Outlook	Python	Ms Teams	Matlab
MSI GL659SD	Blue Light Hazard ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$)	17,51074	17,65277	16,94464	0,250828	16,03933	17,57793
	BLH Night Light On ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$)	11,07166	10,88126	10,41438	0,193571	9,976301	10,97748
	Blue Light Hazard Decrease (%)	-36,77217	-38,35946	-38,53881	-22,8271	-37,801	-37,5496
ASUS X550CL	Blue Light Hazard ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$)	22,14712	22,31605	21,23973	0,201347	20,03793	22,27044
	BLH Night Light On ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$)	13,53203	13,23632	12,56559	0,112301	11,92976	13,40101
	Blue Light Hazard Decrease (%)	-38,89935	-40,68699	-40,83922	-44,22518	-40,46411	-39,826
LENOVO Y580	Blue Light Hazard ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$)	17,20018	17,36177	16,4438	0,125238	15,53203	17,30508
	BLH Night Light On ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$)	10,84394	10,61012	9,997824	0,087821	9,545952	10,75203
	Blue Light Hazard Decrease (%)	-36,95449	-38,88801	-39,20004	-29,8768	-38,54021	-37,8678
DELL 5547	Blue Light Hazard ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$)	14,99801	15,1273	14,45939	0,168086	13,6564	15,06513
	BLH Night Light On ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$)	9,20886	9,029593	8,5976	0,10035	8,190594	9,121317
	Blue Light Hazard Decrease (%)	-38,59946	-40,30928	-40,53969	-40,2985	-40,02379	-39,4541

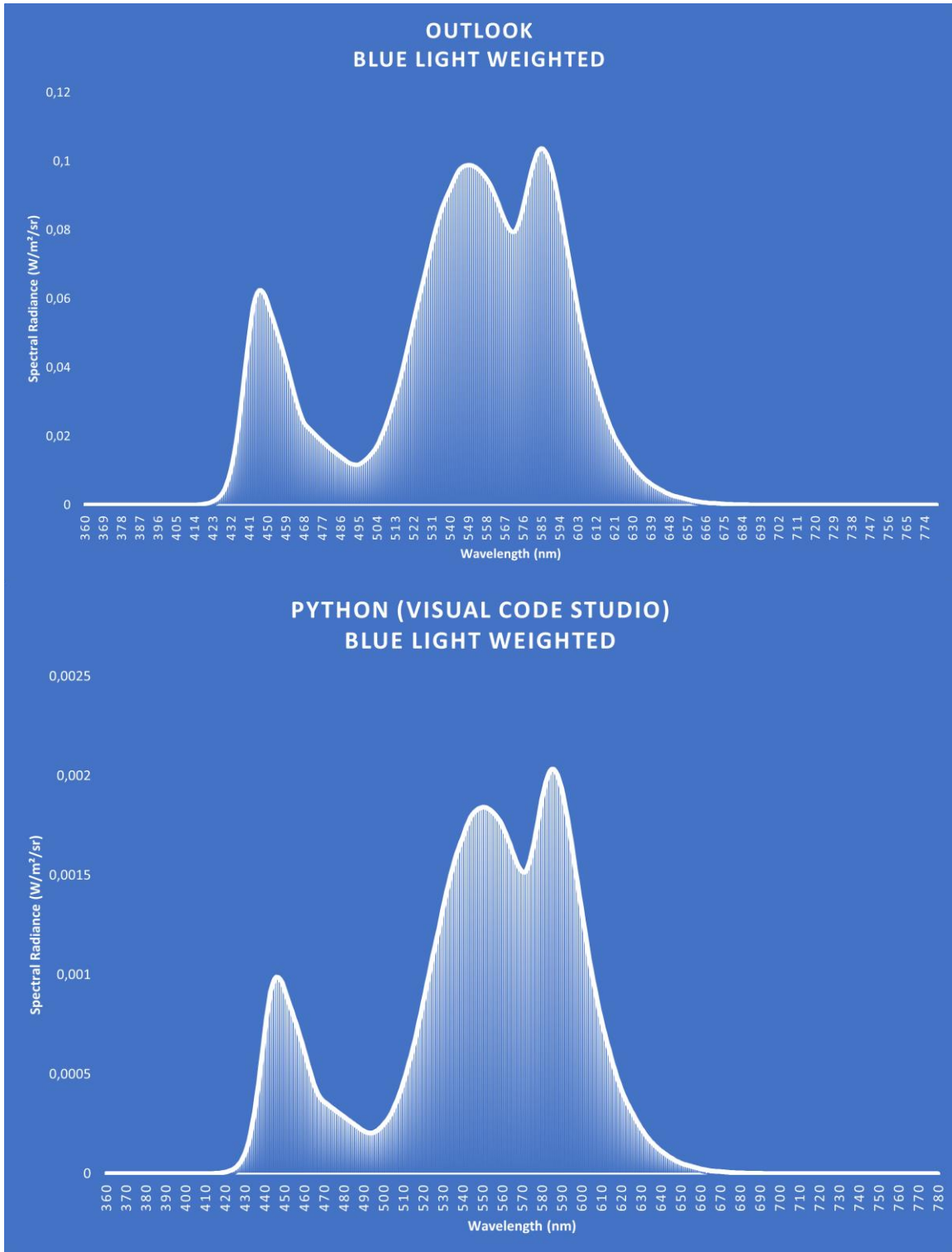
Παρατηρούμε ότι σε καμία κατάσταση χρήσης ο κίνδυνος από μπλε φως δεν προσεγγίζει την οριακή τιμή της οδηγίας και στην μέγιστη τιμή του είναι 6 φορές μικρότερος από αυτήν. Βέβαια οι τιμές που βρέθηκαν για τις καταστάσεις εργασίες εκτός της Python δεν μπορούν να κριθούν ως αμελητέες καθώς πρέπει να λάβουμε υπόψιν τον συσσωρευτικό χαρακτήρα της επίδρασης της ακτινοβολίας και το γεγονός ότι οι εργαζόμενοι χρησιμοποιούν τους υπολογιστές τους καθημερινώς, ακόμα και σε ώρες εκτός του ωραρίου εργασίας τους. Η δόση μπλε φωτός η οποία είναι καθημερινά σε ακίνδυνα επίπεδα δεν εξασφαλίζει ότι σε μακροπρόθεσμη βάση δεν θα εμφανιστούν κίνδυνοι στον εργαζόμενο. Επιπλέον στην κατάσταση χρήσης του Visual Code

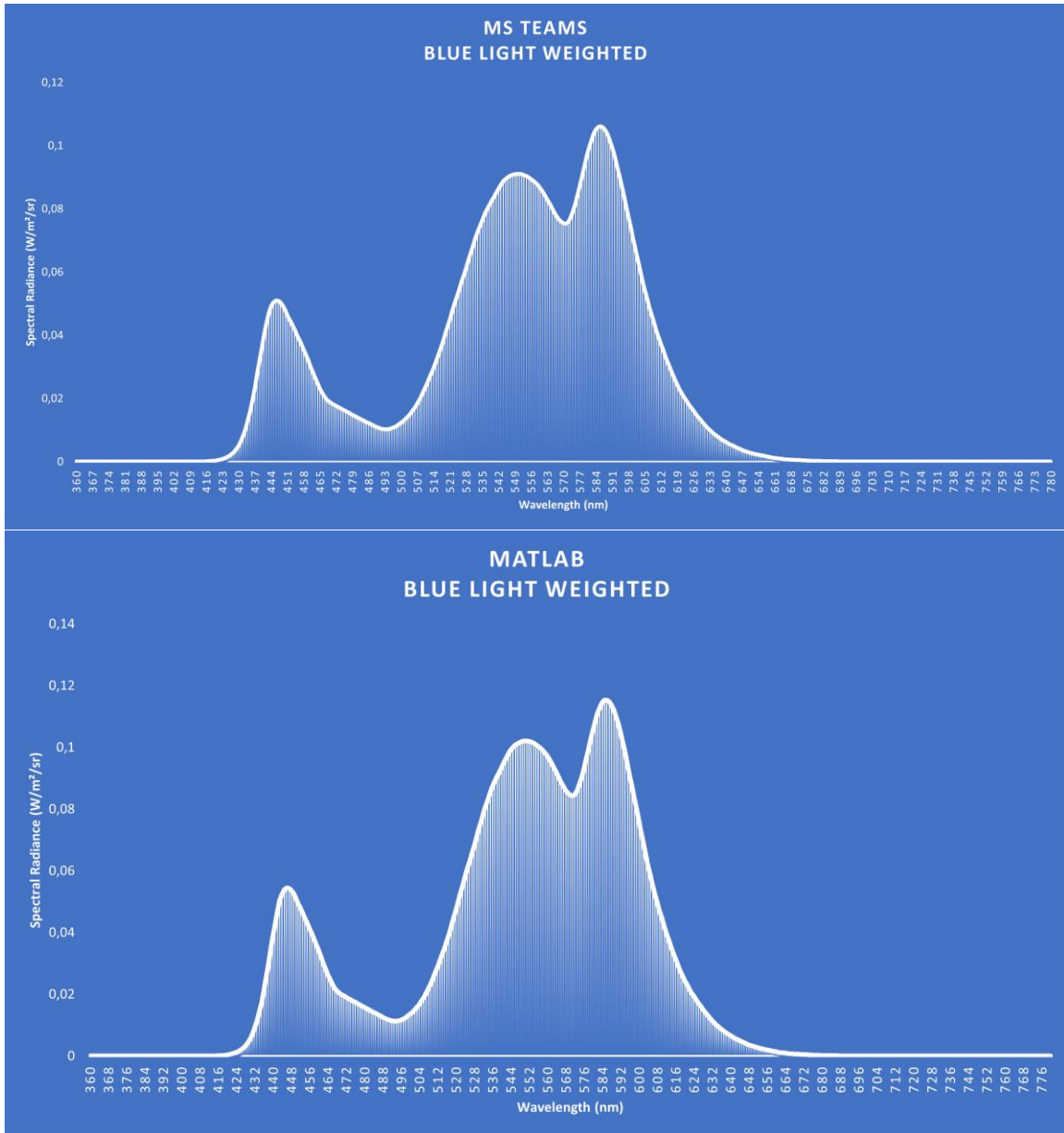


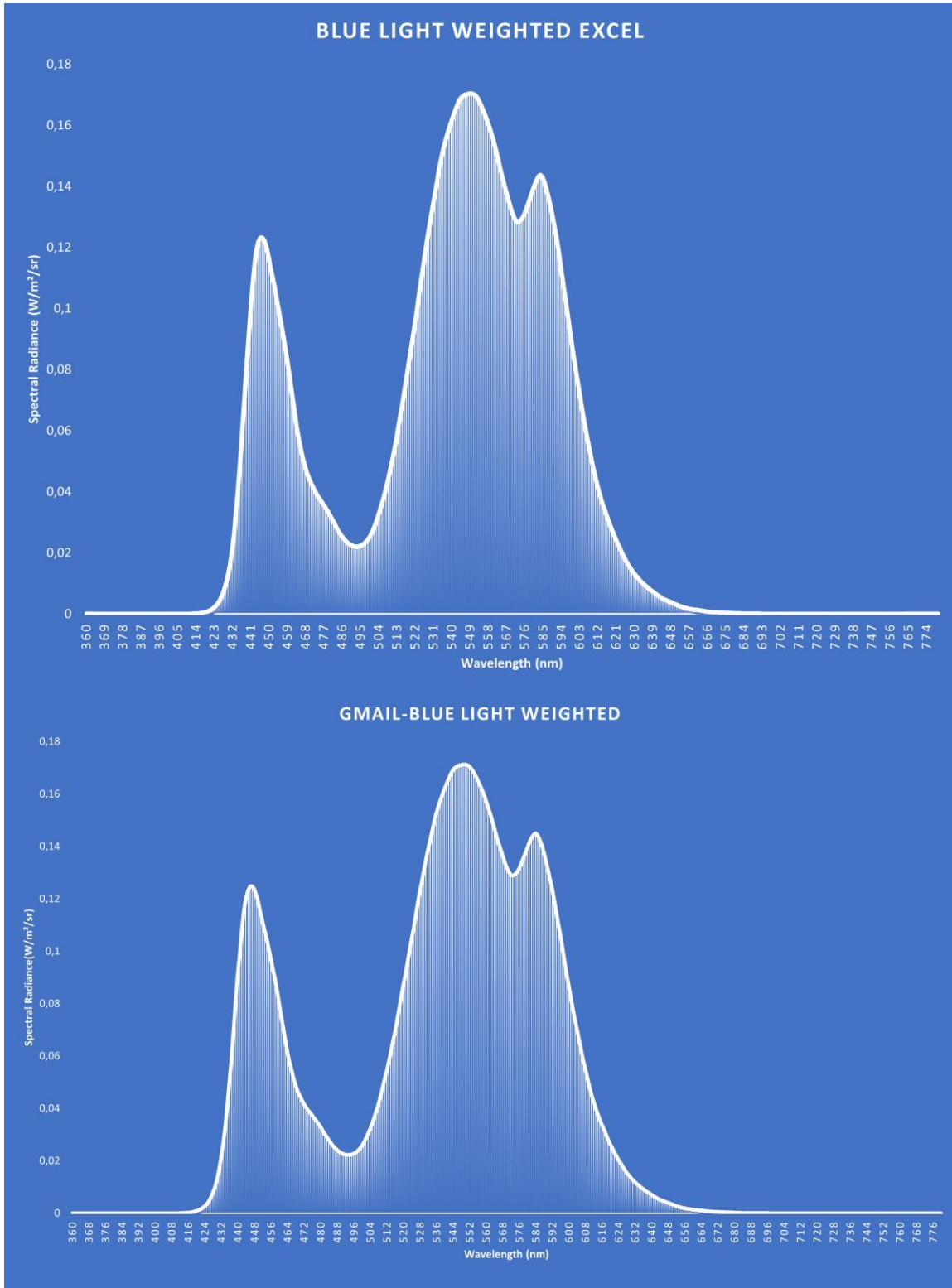
Studio βλέπουμε ότι ο κίνδυνος από την ακτινοβολία μπλε φωτός είναι κατά 80 φορές μικρότερος σε σχέση με τις υπόλοιπες καταστάσεις χρήσης γεγονός που τονίζει την σημασία των σκούρων χρωματισμών για την μείωση της ακτινοβολίας και του φωτο-βιολογικού κινδύνου.

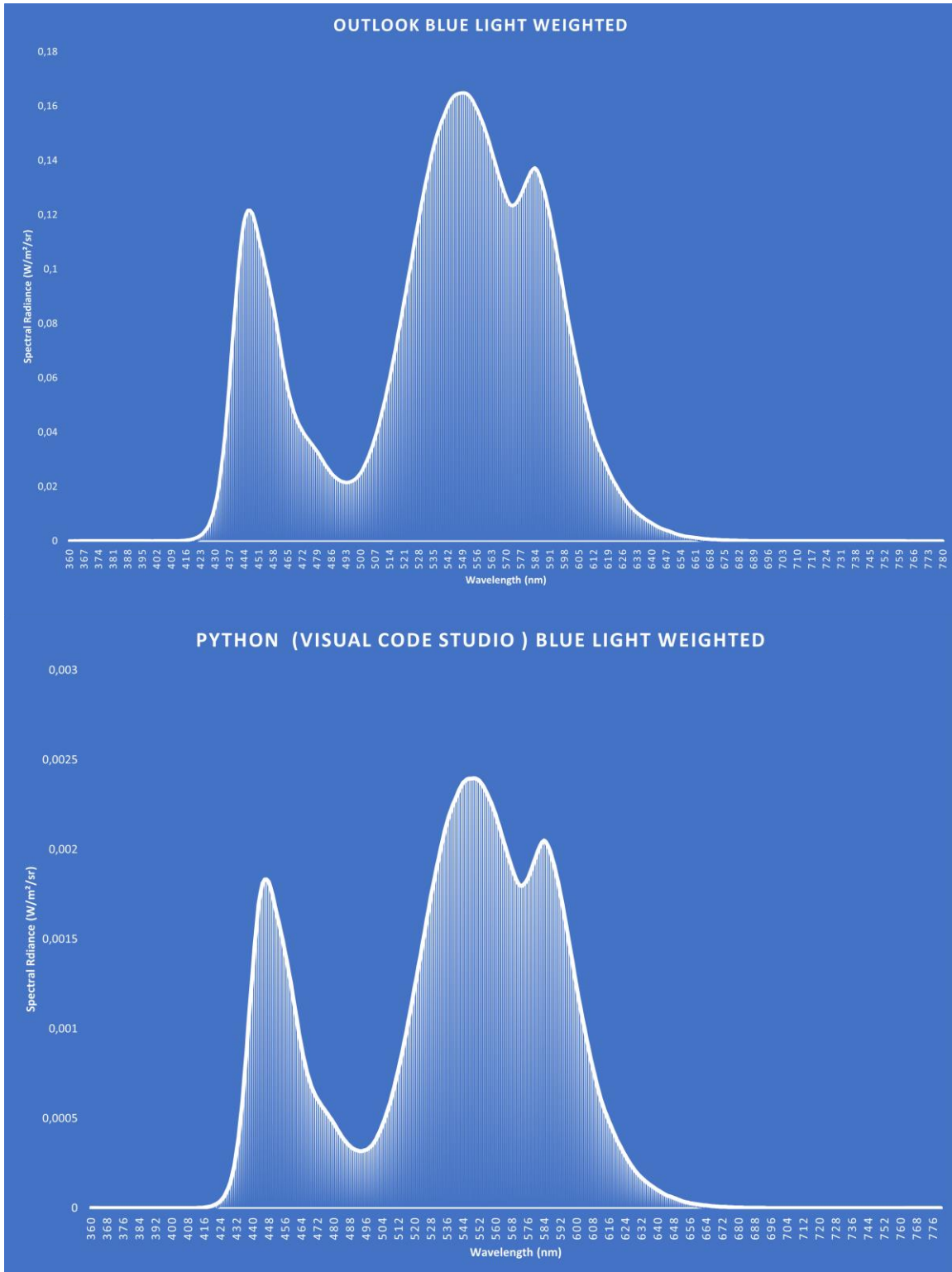
Επίσης σημαντική είναι η συμβολή του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού το οποίο όπως φαίνεται μειώνει τον κίνδυνο μπλε φωτός κατά 35-45%. Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η εφαρμογή αυτού του φίλτρου στους χώρους εργασίας για την περιστολή των κινδύνων. Να σημειωθεί ότι ορίσαμε την επίδραση του φίλτρου στο 50% πράγμα που σημαίνει ότι σε περίπτωση μελέτης με μεγαλύτερη επίδραση του φίλτρου, τα αποτελέσματα θα ήταν ακόμα πιο μικρά και ο κίνδυνος ακόμα μικρότερος. Παρόλα αυτά, όπως αναφέραμε και στην πειραματική διαδικασία, ο ορισμός της επίδρασης του φίλτρου πάνω από 60% παραμορφώνει χρωματικά την οθόνη και καθιστά την εμπειρία θέασης κουραστική άρα η ρύθμιση της επίδρασης στο 50% είναι μια ρεαλιστική ρύθμιση για τον υπολογιστή ενός εργαζόμενου.

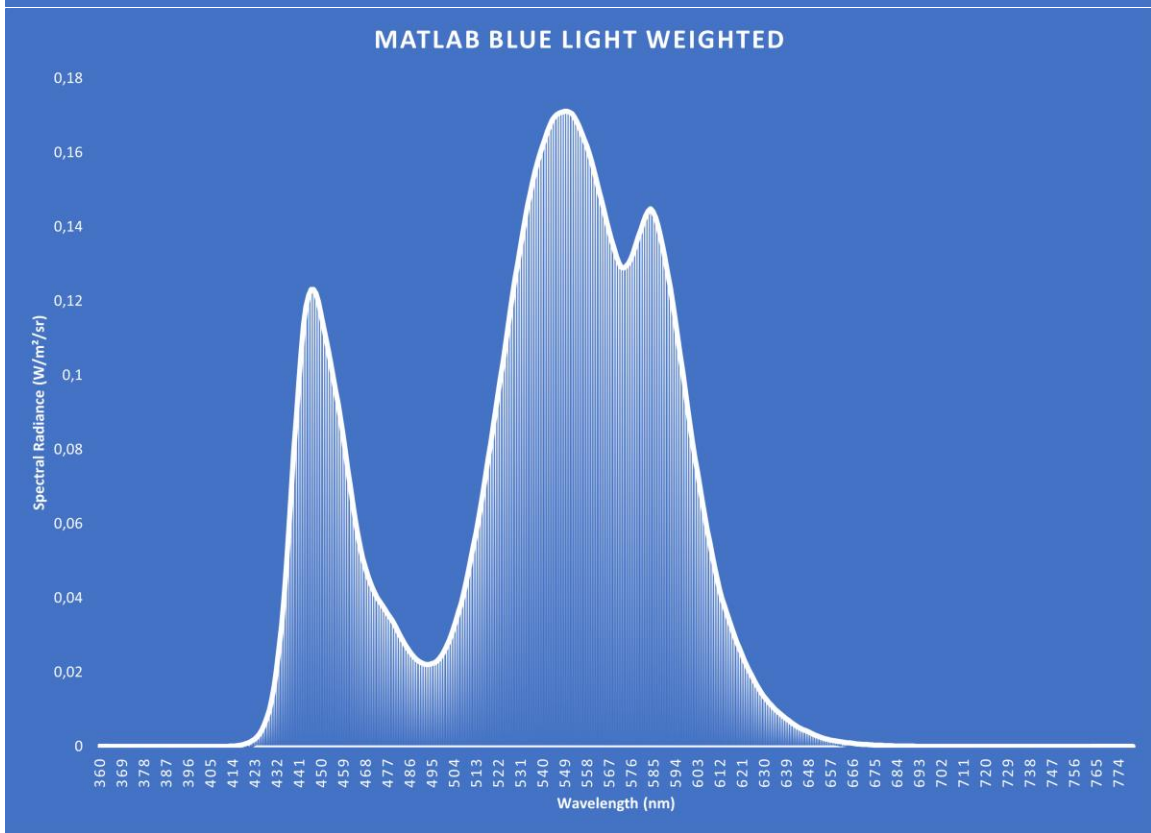
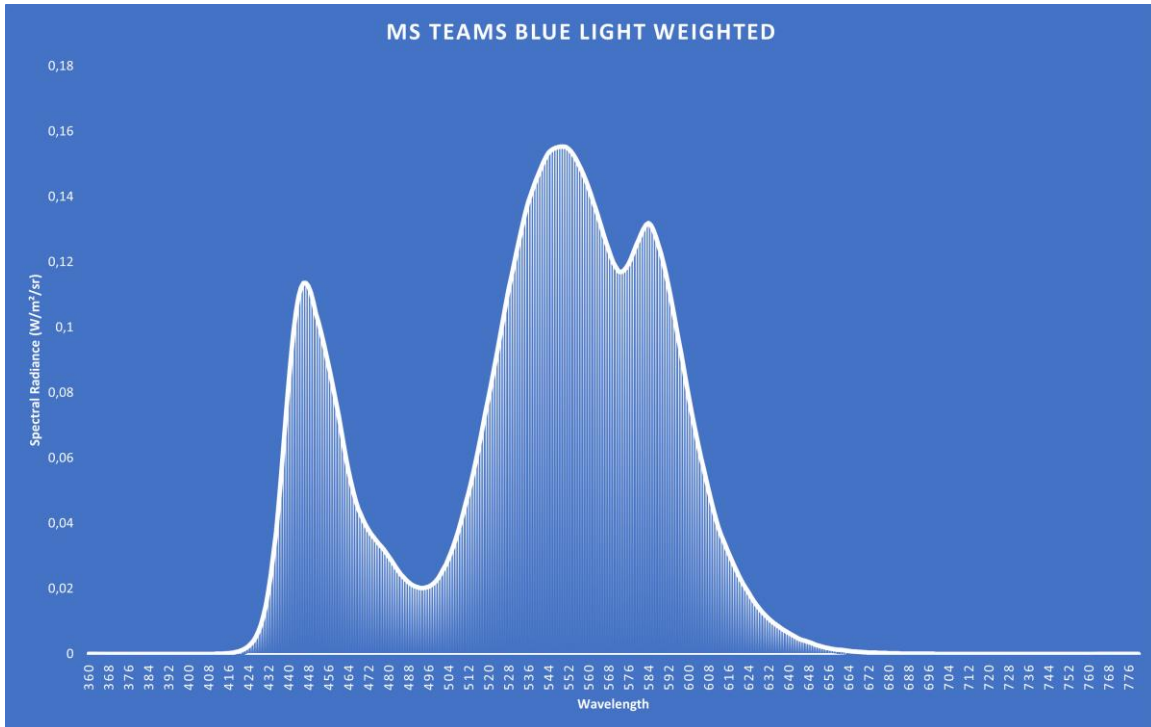














5.6. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΜΦΙΒΛΗΣΤΡΟΕΙΔΗ

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας που ακολουθήσαμε στην ενότητα 5.5 μας δίνουν πληροφορίες σχετικά με το φάσμα εκπομπής των οθονών με στόχο τον χαρακτηρισμό του «κινδύνου μπλε φωτός». Αυτό όμως που αξίζει να τονίσουμε σε αυτό το σημείο είναι ότι αυτό το φάσμα είναι το φάσμα το οποίο εκπέμπεται από την οθόνη και όχι απαραίτητα το φάσμα το οποίο εν τέλει φτάνει στον ανθρώπινο οφθαλμό. Επομένως εγείρεται το ερώτημα: «Πως μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τον φωτοχημικό κίνδυνο στον οποίο εκτίθεται το ανθρώπινο μάτι όταν το μέγεθος το οποίο προτείνει η οδηγία για τον χαρακτηρισμό του δεν αφορά τις τιμές του φάσματος που εν τέλει καταφθάνουν στο μάτι?»

Προκειμένου να υπολογίσουμε το φάσμα το οποίο εν τέλει φθάνει στον ανθρώπινο οφθαλμό χρησιμοποιήσαμε την τεχνική οδηγία CIE 203-2012A [53] η οποία εισήγαγε τον τύπο υπολογισμού για την μεταβολή ανάλογα την ηλικίας, της μετάδοσης του φωτός στο ανθρώπινο μάτι. Η συνάρτηση μετάδοσης περιγράφεται από τον κάτωθι τύπο :

$$D_r(\lambda) = 0.06 + (0.15 + 3.1 \times 10^{-5} a^2) (400/\lambda)^4 + 151.5492 \exp\left\{-[0.057(\lambda - 273)]^2\right\} + 2.13 \times (1.05 - 6.3 \times 10^{-5} a^2) \exp\left\{-[0.029(\lambda - 370)]^2\right\} + 11.95 \times (0.059 + 1.8610^{-4} a^2) \times \exp\left\{-[0.021(\lambda - 325)]^2\right\} + 1.43 \times (0.016 + 1.32 \times 10^{-4} a^2) \exp\left\{-[0.008(\lambda - 325)]^2\right\} \quad (7)$$

Όπου

- λ είναι το μήκος κύματος εκφρασμένο σε nm,
- a είναι η ηλικία σε χρόνια
- D_i η συνάρτηση περιγράφει την φωτεινή πυκνότητα του ανθρώπινου οφθαλμού. Η συνάρτηση μετάδοσης δίνεται από τον τύπο:

$$\tau(\lambda) = 10^{-D_i(\lambda)} \quad (8)$$

Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της μετάδοσης φωτός στο ανθρώπινο μάτι για ηλικίες από 1 έως 100 χρονών στα μήκη κύματος 380-780nm.

Αγνοώντας την επίδραση της αλλαγής της διαμέτρου της κόρης του ματιού καθώς και τον διασκορπισμό του φωτός στο μάτι μπορούμε να υπολογίσουμε το φάσμα που ακτινοβολεί στο ανθρώπινο μάτι ως το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού του φάσματος της φωτεινής πηγής



δηλαδή των οθονών το οποίο και βρέθηκε προηγουμένως, με την συνάρτηση μετάδοσης $\tau(\alpha)$ [57]. Κατά αυτό τον τρόπο, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την μεταβολή του κινδύνου μπλε φωτός ανάλογα την ηλικία του εργαζομένου εκτελώντας την ίδια μαθηματική διαδικασία που περιγράψαμε στην ενότητα 5.5

Τέλος προκειμένου να χαρακτηρίσουμε τον κίνδυνο, έγινε η προσπάθεια εύρεσης της δόσης μπλε φωτός που λαμβάνει ο αμφιβληστροειδής του εργαζομένου για χρόνο έκθεσης $t=28.800s$. δηλαδή μέσα στην 8ωρη διάρκεια εργασίας του. Για την εύρεση της δόσης μπλε φωτός D_b χρησιμοποιήσαμε την μαθηματική σχέση $D_b = E_b \cdot T$ (9) όπου E_b είναι η ακτινοβολία μπλε φωτός στον αμφιβληστροειδή εκφρασμένη σε $W m^{-2}$ και T είναι ο χρόνος έκθεσης.

Η εύρεση της ακτινοβολίας στον αμφιβληστροειδή με γνωστή την ενεργό ακτινοβολία της φωτεινής πηγής καθορίζεται από το τετράγωνο της εστιακής απόστασης και την διάμετρο της κόρης του ματιού όπως φαίνεται από την εξίσωση (10) [58]. Αυτή δείχνει πως για μια δεδομένη φωτεινή πηγή, ο κίνδυνος από την ακτινοβολία μπλε φωτός μπορεί να αλλάξει σημαντικά για διαφορετικές ηλικιακές ομάδες του πληθυσμού.

$$E_r = \frac{\pi \cdot L \cdot t \cdot d^2}{4f^2}, \quad (10)$$

Όπου

- E_r : η ακτινοβολία στον αμφιβληστροειδή
- t : η μετάδοση στο ανθρώπινο μάτι
- d : το μέγεθος της κόρης του ματιού
- f : η εστιακή απόσταση
- L : η ενεργός ακτινοβολία της φωτεινής πηγής

Κάνοντας χρήση του μοντέλου Gullstrand του ματιού για έναν ενήλικα, λαμβάνουμε $t=0,9$, $d=3mm$ και $f=17mm$. Με αυτές τις τιμές και μέγιστη ενεργό ακτινοβολία πηγής $L_B = 100 W m^{-2} sr^{-1}$, προκύπτει η από τις εξισώσεις (9),(10) η μέγιστη δόση ακτινοβολίας $D_{bmax}=2,2 J/cm^2$.

Τα αποτελέσματα του κινδύνου μπλε φωτός ανάλογα την ηλικία του εργαζομένου (επιλέχθηκαν οι ηλικίες από 20 έως 70 με βήμα 10 μιας και αυτά είναι τα εύρη ηλικιών για έναν εργαζόμενο) καθώς και η δόση που λαμβάνει αυτός μέσα στο εργασιακό του 8ωρο παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6.1 ενώ τα αποτελέσματα με την επίδραση του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού



παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6.2. Στον πίνακα 5.6.3 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή των τιμών του κινδύνου μπλε φωτός και της δόσης κατά της δύο καταστάσεις χρήσης του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού.

Πίνακας 5.6.1. Κίνδυνος και δόση μπλε φωτός με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού απενεργοποιημένο

Computers	AGE	Excel		Gmail		Outlook		Python		Ms Teams		Matlab	
		BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose
MSI GL659SD	20	12,3525	0,7827	12,4508	0,7889	11,9402	0,7565	0,1767	0,0112	11,3127	0,7168	12,4032	0,7859
	30	11,0046	0,6973	11,0913	0,7027	10,6311	0,6736	0,1573	0,0100	10,0774	0,6385	11,0512	0,7002
	40	9,3992	0,5955	9,4724	0,6002	9,0733	0,5749	0,1342	0,0085	8,6065	0,5453	9,4407	0,5982
	50	7,7230	0,4893	7,7824	0,4931	7,4485	0,4719	0,1102	0,0070	7,0711	0,4480	7,7588	0,4916
	60	6,1262	0,3882	6,1729	0,3911	5,9027	0,3740	0,0873	0,0055	5,6088	0,3554	6,1561	0,3900
	70	4,7066	0,2982	4,7422	0,3005	4,5303	0,2870	0,0670	0,0042	4,3091	0,2730	4,7307	0,2997
ASUS X550CL	20	15,3780	0,9743	15,4930	0,9816	14,7338	0,9335	0,1396	0,0088	13,9112	0,8814	15,4672	0,9800
	30	13,5779	0,8603	13,6785	0,8667	13,0024	0,8238	0,1232	0,0078	12,2819	0,7782	13,6584	0,8654
	40	11,4551	0,7258	11,5389	0,7311	10,9618	0,6945	0,1038	0,0066	10,3607	0,6565	11,5249	0,7302
	50	9,2698	0,5873	9,3367	0,5916	8,8631	0,5616	0,0839	0,0053	8,3835	0,5312	9,3282	0,5910
	60	7,2267	0,4579	7,2782	0,4611	6,9030	0,4374	0,0654	0,0041	6,5353	0,4141	7,2739	0,4609
	70	5,4515	0,3454	5,4901	0,3479	5,2020	0,3296	0,0493	0,0031	4,9298	0,3124	5,4885	0,3478
LENOVO Y580	20	12,0560	0,7639	12,1677	0,7709	11,5145	0,7296	0,0877	0,0056	10,8853	0,6897	12,1324	0,7687
	30	10,7032	0,6782	10,8017	0,6844	10,2171	0,6474	0,0778	0,0049	9,6633	0,6123	10,7723	0,6825
	40	9,0995	0,5765	9,1826	0,5818	8,6803	0,5500	0,0661	0,0042	8,2149	0,5205	9,1599	0,5804
	50	7,4359	0,4711	7,5032	0,4754	7,0873	0,4491	0,0540	0,0034	6,7126	0,4253	7,4866	0,4744
	60	5,8635	0,3715	5,9162	0,3749	5,5835	0,3538	0,0425	0,0027	5,2930	0,3354	5,9048	0,3741
	70	4,4781	0,2837	4,5182	0,2863	4,2601	0,2699	0,0324	0,0021	4,0425	0,2561	4,5107	0,2858
DELL 5547	20	10,4389	0,6614	10,5273	0,6670	10,0540	0,6370	0,1168	0,0074	9,5036	0,6022	10,4881	0,6645
	30	9,2317	0,5849	9,3093	0,5898	8,8866	0,5631	0,1033	0,0065	8,4040	0,5325	9,2765	0,5878
	40	7,8074	0,4947	7,8724	0,4988	7,5101	0,4758	0,0872	0,0055	7,1068	0,4503	7,8466	0,4972
	50	6,3392	0,4017	6,3913	0,4050	6,0925	0,3860	0,0708	0,0045	5,7699	0,3656	6,3724	0,4038
	60	4,9626	0,3144	5,0030	0,3170	4,7647	0,3019	0,0553	0,0035	4,5166	0,2862	4,9897	0,3161
	70	3,7610	0,2383	3,7914	0,2402	3,6073	0,2286	0,0419	0,0027	3,4229	0,2169	3,7825	0,2397

Πίνακας 5.6.2. Κίνδυνος και δόση μπλε φωτός με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού ενεργοποιημένο

Computers	AGE	Excel		Gmail		Outlook		Python		Ms Teams		Matlab	
		BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose
MSI GL659SD	20	7,9541	0,5040	7,8168	0,4953	7,4756	0,4737	0,1390	0,0088	7,1669	0,4541	7,8883	0,4998
	30	7,1547	0,4533	7,0311	0,4455	6,7214	0,4259	0,1250	0,0079	6,4466	0,4085	7,0965	0,4496
	40	6,1890	0,3921	6,0818	0,3853	5,8107	0,3682	0,1081	0,0069	5,5765	0,3533	6,1396	0,3890
	50	5,1622	0,3271	5,0727	0,3214	4,8434	0,3069	0,0902	0,0057	4,6514	0,2947	5,1219	0,3245
	60	4,1631	0,2638	4,0910	0,2592	3,9031	0,2473	0,0727	0,0046	3,7514	0,2377	4,1315	0,2618
	70	3,2541	0,2062	3,1979	0,2026	3,0485	0,1932	0,0569	0,0036	2,9327	0,1858	3,2302	0,2047
ASUS X550CL	20	9,4885	0,6012	9,2805	0,5880	8,8041	0,5578	0,0787	0,0050	8,3646	0,5300	9,3987	0,5955
	30	8,4234	0,5337	8,2385	0,5220	7,8126	0,4950	0,0699	0,0044	7,4255	0,4705	8,3447	0,5287
	40	7,1594	0,4536	7,0019	0,4436	6,6365	0,4205	0,0594	0,0038	6,3111	0,3999	7,0936	0,4494
	50	5,8472	0,3705	5,7185	0,3623	5,4165	0,3432	0,0485	0,0031	5,1544	0,3266	5,7946	0,3671
	60	4,6076	0,2919	4,5061	0,2855	4,2649	0,2702	0,0382	0,0024	4,0618	0,2574	4,5671	0,2894
	70	3,5173	0,2229	3,4399	0,2179	3,2530	0,2061	0,0292	0,0018	3,1010	0,1965	3,4873	0,2210
LENOVO Y580	20	7,6696	0,4859	7,5039	0,4754	7,0657	0,4477	0,0621	0,0039	6,7515	0,4278	7,6063	0,4819
	30	6,8433	0,4336	6,6952	0,4242	6,3018	0,3993	0,0554	0,0035	6,0240	0,3817	6,8785	0,4301
	40	5,8582	0,3712	5,7314	0,3631	5,3918	0,3416	0,0474	0,0030	5,1570	0,3267	5,8114	0,3682
	50	4,8285	0,3059	4,7239	0,2993	4,4412	0,2814	0,0391	0,0025	4,2507	0,2693	4,7908	0,3035
	60	3,8461	0,2437	3,7628	0,2384	3,5350	0,2240	0,0311	0,0020	3,3860	0,2145	3,8169	0,2418
	70	2,9707	0,1882	2,9064	0,1842	2,7283	0,1729	0,0241	0,0015	2,6156	0,1657	2,9487	0,1868
DELL 5547	20	6,4689	0,4099	6,3425	0,4019	6,0345	0,3823	0,0705	0,0045	5,7533	0,3645	6,4090	0,4061
	30	5,7505	0,3644	5,6380	0,3572	5,3619	0,3397	0,0626	0,0040	5,1143	0,3240	5,6980	0,3610
	40	4,8982	0,3103	4,8021	0,3043	4,5644	0,2892	0,0533	0,0034	4,3562	0,2760	4,8542	0,3076
	50	4,0128	0,2543	3,9340	0,2493	3,7366	0,2368	0,0437	0,0028	3,5688	0,2261	3,9777	0,2520
	60	3,1747	0,2012	3,1123	0,1972	2,9538	0,1872	0,0345	0,0022	2,8235	0,1789	3,1476	0,1994
	70	2,4347	0,1543	2,3869	0,1512	2,2634	0,1434	0,0265	0,0017	2,1656	0,1372	2,4145	0,1530



Πίνακας 5.6.3. Ποσοστιαία μεταβολή κινδύνου και δόσης.

Computers	AGE	Excel		Gmail		Outlook		Python		Ms Teams		Matlab	
		BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose	BLH	8H Dose
MSI GL659SD	20	35,6	35,6	37,2	37,2	37,4	37,4	21,3	21,3	36,6	36,6	36,4	36,4
	30	35,0	35,0	36,6	36,6	36,8	36,8	20,5	20,5	36,0	36,0	35,8	35,8
	40	34,2	34,2	35,8	35,8	36,0	36,0	19,4	19,4	35,2	35,2	35,0	35,0
	50	33,2	33,2	34,8	34,8	35,0	35,0	18,1	18,1	34,2	34,2	34,0	34,0
	60	32,0	32,0	33,7	33,7	33,9	33,9	16,7	16,7	33,1	33,1	32,9	32,9
ASUS X550CL	70	30,9	30,9	32,6	32,6	32,7	32,7	15,1	15,1	31,9	31,9	31,7	31,7
	20	38,3	38,3	40,1	40,1	40,2	40,2	43,6	43,6	39,9	39,9	39,2	39,2
	30	38,0	38,0	39,8	39,8	39,9	39,9	43,3	43,3	39,5	39,5	38,9	38,9
	40	37,5	37,5	39,3	39,3	39,5	39,5	42,8	42,8	39,1	39,1	38,5	38,5
	50	36,9	36,9	38,8	38,8	38,9	38,9	42,3	42,3	38,5	38,5	37,9	37,9
LENOVO Y580	60	36,2	36,2	38,1	38,1	38,2	38,2	41,6	41,6	37,8	37,8	37,2	37,2
	70	35,5	35,5	37,3	37,3	37,5	37,5	40,8	40,8	37,1	37,1	36,5	36,5
	20	36,4	36,4	38,3	38,3	38,6	38,6	29,2	29,2	38,0	38,0	37,3	37,3
	30	36,1	36,1	38,0	38,0	38,3	38,3	28,8	28,8	37,7	37,7	37,0	37,0
	40	35,6	35,6	37,6	37,6	37,9	37,9	28,2	28,2	37,2	37,2	36,6	36,6
DELL 5547	50	35,1	35,1	37,0	37,0	37,3	37,3	27,6	27,6	36,7	36,7	36,0	36,0
	60	34,4	34,4	36,4	36,4	36,7	36,7	26,8	26,8	36,0	36,0	35,4	35,4
	70	33,7	33,7	35,7	35,7	36,0	36,0	25,9	25,9	35,3	35,3	34,6	34,6
	20	38,0	38,0	39,8	39,8	40,0	40,0	39,7	39,7	39,5	39,5	38,9	38,9
	30	37,7	37,7	39,4	39,4	39,7	39,7	39,4	39,4	39,1	39,1	38,6	38,6
	40	37,3	37,3	39,0	39,0	39,2	39,2	38,9	38,9	38,7	38,7	38,1	38,1
	50	36,7	36,7	38,4	38,4	38,7	38,7	38,3	38,3	38,1	38,1	37,6	37,6
	60	36,0	36,0	37,8	37,8	38,0	38,0	37,6	37,6	37,5	37,5	36,9	36,9
	70	35,3	35,3	37,0	37,0	37,3	37,3	36,8	36,8	36,7	36,7	36,2	36,2



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

6.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και αφορούν τον κίνδυνο ακτινοβολίας μπλε φωτός καθώς και την χρήση του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού ως μέθοδος περιστολής του κινδύνου.

- Ο κίνδυνος μπλε φωτός εντείνεται όταν ο εργαζόμενος χρησιμοποιεί εφαρμογές στον υπολογιστή του με έντονες λευκές αποχρώσεις δηλαδή όταν το αποτέλεσμα της χρωματομετρικής ανάλυσης προσομοιώνει υψηλές τιμές RGB. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση τόσο της λαμπρότητας που εκπέμπει η οθόνη του όσο και της ενεργούς ακτινοβολίας της εκάστοτε οθόνης. Όλες οι τιμές κινδύνου μπλε φωτός βρέθηκαν να είναι κάτω από την οριακή τιμή έκθεσης που αναγράφεται στην οδηγία, για κάθε υπολογιστή και για κάθε κατάσταση χρήσης με την κατάσταση χρήσης σκοτεινότερου χρώματος να παρουσιάζει πολύ μικρότερο κίνδυνο για τον εργαζόμενο. Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν για δωρη χρήση υπολογιστή, οφείλουμε να τονίσουμε ότι η καθημερινή έκθεση του εργαζομένου σε ακτινοβολία μπλε φωτός μπορεί να αυξηθεί καθώς οι άνθρωποι χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς υπολογιστές και μετά το πέρας της εργασίας του, προσθέτοντας έτσι στην ημερήσια δόση.
- Η δόση και ο κίνδυνος μπλε φωτός μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας. Αυτό συμβαίνει διότι με το πέρασμα των χρόνων η ικανότητα του ανθρώπινου ματιού να λαμβάνει φασματική πληροφορία μειώνεται, όπως φαίνεται και από την μαθηματική έκφραση της συνάρτησης μετάδοσης. Αυτό δεν σημαίνει βέβαια πως άνθρωποι μεγαλύτερης ηλικίας δεν κινδυνεύουν από την ακτινοβολία μπλε φωτός μιας και η δόση που λαμβάνουν από την ίδια κατάσταση χρήσης σε σχέση με έναν άνθρωπο ηλικίας 20 χρονών που βλέπει την ίδια κατάσταση χρήσης, μειώνεται στο 30%. Ο κίνδυνος δηλαδή υπάρχει, απλά είναι μικρότερος. Από την άλλη, οι άνθρωποι μικρότερης ηλικίας κινδυνεύουν περισσότερο και προτείνεται η μείωση του χρόνου που περνούν μπροστά από τις οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών μετά το πέρας της εργασίας τους. Αυτή η πρόταση καθίσταται ακόμα πιο σημαντική ειδικά στις περιπτώσεις τηλεργασίας οι οποίες αυξήθηκαν λόγω της πανδημίας COVID-19.
- Το φίλτρο νυχτερινού φωτισμού πράγματι μειώνει την ακτινοβολία μπλε φωτός μεταβάλλοντας την λαμπρότητα κάθε χρωματικού καναλιού με «έξυπνο τρόπο» καθώς μεταβάλλει τις λαμπρότητες των χρωματισμών που το φάσμα ακτινοβολίας τους κρίνεται ως το πιο επικίνδυνο. Επιπλέον δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές στον τρόπο επίδρασης

του φίλτρου από υπολογιστή σε υπολογιστή και δεδομένου ότι η έρευνα έγινε για υπολογιστές σύγχρονης τεχνολογίας LCD με διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η εξήγηση που δώσαμε για την λειτουργία του φίλτρου είναι αποδεκτή και δεν επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της οθόνης. Προτείνεται επομένως η συνεχής εφαρμογή του φίλτρου στην οθόνη κατά την διάρκεια εργασίας καθώς η μείωση της ακτινοβολίας μπλε φωτός και της δόσης που λαμβάνει ο εργαζόμενος κατά 40% καθημερινώς οδηγεί **μακροπρόθεσμα** στην ακόμα μεγαλύτερη περιστολή του κινδύνου. Αν αυτό συνδυαστεί με ταυτόχρονη εφαρμογή του dark mode στις καταστάσεις χρήσης τότε έχουμε την λιγότερο επιβλαβή συνθήκη θέασης η οποία και είναι επιθυμητή. Συνεπώς η γενική οδηγία είναι η κατά το δυνατό μείωση των ωρών χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών με ταυτόχρονη εφαρμογή του φίλτρου νυχτερινού φωτισμού στο 50% της επίδρασης του και η επιλογή της λειτουργίας dark mode από την στιγμή που αυτή υποστηρίζεται από την γραφική επιφάνεια εργασίας της εφαρμογής.

6.2. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Οι προοπτικές περαιτέρω έρευνας και εφαρμογών που προέκυψαν κατά τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- **Μελέτη της ευστάθειας χρώματος των υπολογιστών με το πέρασμα του χρόνου:**
Στην παρούσα διπλωματική εργασία, οι μετρήσεις λαμπρότητας των χρωματικών patches έγιναν μέσα σε μια περίοδο δύο μηνών με τις μεταβολές στις μετρούμενες λαμπρότητες για τον ίδιο υπολογιστή σε αυτό το χρονικό διάστημα να είναι μικρές. Παρόλα αυτά, με το πέρασμα του χρόνου η ευστάθεια χρώματος που απεικονίζουν οι υπολογιστές μπορεί να μεταβάλλεται και συνεπώς θα μπορούσε να γίνει μελέτη για την μεταβολή αυτής της ευστάθειας μέσα σε ένα ημερολογιακό έτος με στόχο την ανάλυση της χρωματικής απόκρισης των οθονών με το πέρασμα του χρόνου.
- **Επέκταση της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας με άλλες συνθήκες μέτρησης:** Στα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν υπεισέρχεται καθόλου ο φωτισμός από άλλες φωτεινές πηγές αφού η ακτινοβολία που φτάνει στο μάτι του εργαζόμενου δεν είναι αποκλειστικά ακτινοβολία από την οθόνη του υπολογιστή του, καθώς στους χώρους εργασίας πρέπει να υπεισέρχεται στην ανάλυση και η επίδραση του τεχνητού φωτισμού η

οποία και αυτή με την σειρά της συμβάλλει στην εκπομπή ακτινοβολίας μπλε φωτός. Συνεπώς σαν επέκταση της έρευνα που πραγματοποιήθηκε, κρίνεται σκόπιμη και η μελέτη φωτισμού εσωτερικών χώρων κατά την διάρκεια χρήσης της οθόνης από τον εργαζόμενο.

- **Μελέτη για την επίδραση ακτινοβολίας μπλε φωτός στις βιολογικές λειτουργίες του εργαζόμενου:** Με αφετηρία τα αποτελέσματα για τις καταστάσεις χρήσης, τον κίνδυνο μπλε φωτός και την δόση που λαμβάνει ο εργαζόμενος, μια μελέτη σχετικά με τις επιπτώσεις στις βιολογικές λειτουργίες του όπως μοτίβο ύπνου, καρδιακός παλμός και μετρήσεις έκκρισης μελατονίνης, θα οδηγούσε σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με το ποιες καταστάσεις χρήσης και ποιες συνθήκες θέασης των υπολογιστών έχουν την μεγαλύτερη βιολογική επίπτωση.
- **Μελέτη για την επίδραση ακτινοβολίας μπλε φωτός από οθόνες διαφορετικής τεχνολογίας:** Στην παρούσα εργασία αναλύσαμε χρωματομετρικά οθόνες τεχνολογίας LCD η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη. Η ίδια ακριβώς διαδικασία μέτρησης και ποσοτικής ανάλυσης θα ήταν χρήσιμο να πραγματοποιηθεί για οθόνες τελευταίας τεχνολογίας OLED η οποία παρόλο που δεν χρησιμοποιείται ευρέως μέχρι στιγμής θα οδηγούσε σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την χρωματική τους συμπεριφορά ενώ παράλληλα θα καθιστούσε δυνατή την σύγκριση τους με τις οθόνες τεχνολογίας LCD για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρωματομετρικής φύσης. Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η σύγκριση των αποτελεσμάτων του κινδύνου μπλε φωτός για τις οθόνες OLED εν συγκρίσει με τις LCD.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Hattar S, Lucas RJ, Mrosovsky N, et al. Melanopsin and rod-cone photoreceptive systems account for all major accessory visual functions in mice. *Nature*. 2003; 424:76-81.
- [2]. Sliney DH, Freasier BC. Evaluation of optical radiation hazards. *Applied Optics*. 1973;12(1):1-24.
- [3]. Behar-Cohen F, Martinsons C, Vienot F, et al. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? *Prog Retin Eye Res*. 2011;30(4):239-57.
- [4] Blue Light Hazard: New Knowledge, New Approaches to Maintaining Ocular Health. REPORT OF A ROUNDTABLE March 16, 2013, New York City, NY, USA
- [5]. Barrau C, Villette T, Cohen-Tannoudji D. Blue light: Scientific discovery. Essilor. 2013 February; 1-49.
- [6]. Noell WK, Walker VS, Kang BS, et al. Retinal damage by light in rats. *Invest Ophthalmol*. 1966;5(5):450-73.
- [7]. Noell WK. Possible mechanisms of photoreceptor damage by light in mammalian eyes. *Vis Res*. 1980;20:1163-71.
- [8]. Marshall J. Radiation and the ageing eye. *Ophthal Physiol Opt*. 1985;5(3):241-63.
- [9]. Ham WT, Mueller HA, Ruffolo JJ, et al. Sensitivity of the retina to radiation damage as a function of wavelength. *Photochem Photobiol*. 1979; 29:735-43.
- [10]. Ham WT, Mueller HA, Sliney DH: Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. *Nature*. 1976; 260:153-5.
- [11]. Wu J, Chen E, Soderberg PG: Failure of ascorbate to protect against broadband blue light-induced retinal damage in rat. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1999;237:855-60.
- [12]. Hunter JJ, Morgan JI, Merigan WH, et al. The susceptibility of the retina to photochemical damage from visible light. *Prog Retin Eye Res*. 2012;31(1):28-42.
- [13]. Hattar S, Liao HW, Takao M, et al. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*. 2002;295(5557):1065-70.
- [14]. Berson DM. Phototransduction in ganglion-cell photoreceptors. *Pflugers Arch – Eur J Physiol*. 2007;454:849-55.
- [15]. Gamlin PD, McDougal DH, Pokorny J, et al. Human and macaque pupil responses driven by melanopsin-containing retinal ganglion cells. *Vision Res*. 2007;47(7):946-54.



- [16]. Vienot F, Bailacq S, Rohellec JL. The effect of controlled photopigment excitations on pupil aperture. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2010;30(5):484-91.
- [17]. Mure LS, Cornut PL, Rieux C, et al. Melanopsin bistability: a fly eye's technology in the human retina. *PLoS ONE*. 2009;4(6):e5991.
- [18]. The US Department of Labor. *Computer and internet use at work in 2003*. 2005 [cited 2018; USDL 05-1457]. Available from: <https://www.bls.gov/news.release/pdf/ciuaw.pdf>.
- [19]. Cole, B.L., J.D. Maddocks, and K. Sharpe, *Effect of VDUs on the eyes: report of a 6-year epidemiological study*. *Optom Vis Sci*, 1996. 73(8): p. 512-28
- [20]. Haes, D.L., Jr. and M.R. Fitzgerald, *Video display terminal very low frequency measurements: the need for protocols in assessing VDT user "dose"*. *Health Phys*, 1995. 68(4): p. 572-8.
- [21] O'Hagan, J.B., M. Khazova, and L.L.A. Price, *Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard*. *Eye*, 2016. 30(2): p. 230-233.
- [22]. ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation*. 2013
23. Lurati, A.R., *Computer Vision Syndrome: Implications for the Occupational Health Nurse*. *Workplace Health Saf*, 2018. 66(2): p. 56-60.
- [24]. Sheppard, A.L. and J.S. Wolffsohn, *Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration*. *BMJ Open Ophthalmol*, 2018. 3(1): p. e000146.
- [25]. Gowrisankaran, S. and J.E. Sheedy, *Computer vision syndrome: A review*. *Work*, 2015. 52(2): p. 303-14.
- [26]. Logaraj, M., V. Madhupriya, and S. Hegde, *Computer vision syndrome and associated factors among medical and engineering students in chennai*. *Ann Med Health Sci Res*, 2014. 4(2): p. 179-85.
- [27]. Marie, M., et al., *Light action spectrum on oxidative stress and mitochondrial damage in A2E-loaded retinal pigment epithelium cells*. *Cell Death Dis*, 2018. 9(3): p. 287.
- [28]. Ranasinghe, P., et al., *Computer vision syndrome among computer office workers in a developing country: an evaluation of prevalence and risk factors*. *BMC Res Notes*, 2016. 9: p. 150.
- [29]. Rosenfield, M., *Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments*. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2011. 31(5): p. 502-15
- [30]. Cortes, M., et al., *NGF and iNOS Changes in Tears from Video Display Terminal Workers*. *Current Eye Research*, 2018: p. 1-7.
- [31]. Toomingas, A., et al., *Risk factors, incidence and persistence of symptoms from the eyes among professional computer users*. *Work*, 2014. 47(3): p. 291-301.



- [32]. American Optometric Association. *Computer Vision Syndrome*. 2018 [cited 2018; Available from: <https://www.aoa.org/patients-and-public/caring-for-your-vision/protecting-your-vision/computer-vision-syndrome>].
- [33]. Isono H, K.A., Kamimura T, Noguchi Y, Yaguchi H., *The effect of blue light on visual fatigue when reading on LED backlit tablet LCDs*. Proceedings of the International Display Workshops, 2013. VHFp- 9L.
- [34]. Coles-Brennan, C., A. Sulley, and G. Young, *Management of digital eye strain*. Clin Exp Optom, 2018.
- [35]. Hasanah, R.A., T. Suwand, and A. Wibowo, *Prevalence on the occurrence of computer vision syndrome to VDT operator in bank Surabaya, Indonesia*. Indian Journal of Public Health Research and Development, 2017. 8(4): p. 291-295.
- [36] ["How Computer Monitors Work"](#). HowStuffWorks. 16 June 2000.
- [37] ["Cathode Ray Tube \(CRT\)"](#). Circuit Globe. 6 June 2017.
- [38] ["CRT Monitors"](#). PCTechGuide.Com. Archived from the original on 2011-05-23. Retrieved 2011-05-20
- [39] ["Definition of LCD"](#). www.merriam-webster.com.
- [40] Ibrahim, Dogan (August 22, 2012). [Using LEDs, LCDs and GLCDs in Microcontroller Projects](#). John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-36103-0
- [41] Explanation of CCFL backlighting details, ["Design News — Features — How to Backlight an LCD" Archived](#) January 2, 2014, at the [Wayback Machine](#), Randy Frank, Retrieved January 2013.
- [42] Dimming options for LCD brightness; J. Moronski; Electronicproducts.com; 3 Januari 2004; http://www.electronicproducts.com/Optoelectronics/Dimming_options_for_LCD_brightness_control.aspx
- [43] Koren, Norman. "Gamut mapping". Archived from the original on 2011-12-21. Retrieved 2018-12-10. The rendering intent determines how colors are handled that are present in the source but out of gamut in the destination
- [44] <https://www.electronicshub.org/monitor-panel-types/>
- [45] Robert Hirsch (2004). *Exploring Colour Photography: A Complete Guide*. Laurence King Publishing. ISBN 1-85669-420-8.
- [46] Charles A. Poynton (2003). *Digital Video and HDTV: Algorithms and Interfaces*. Morgan Kaufmann. ISBN 1-55860-792-7.

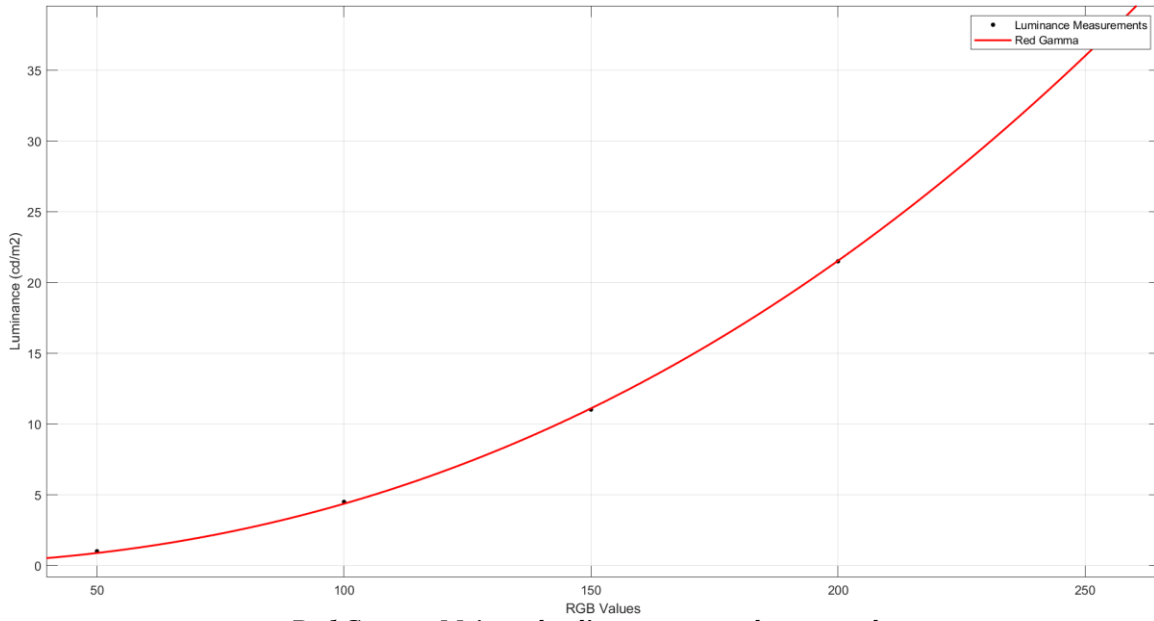


- [47] https://www5.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/2_Products/5_Light_and_Display_Measurement/3_Illuminance_Colour_Meters/CL-500A/PDF/CL-500A_EN.pdf
- [48] https://www5.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/2_Products/5_Light_and_Display_Measurement/4_Luminance_Colour_Meters/CS-200/PDF/CS-200_EN.pdf
- [49] https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/office/monitor_positioning.
- [50] <https://vpixx.com/vocal/gammacorrect/#Overview>
- [51] Evaluation of tablet computers for visual function assessment
- [52] Directive 2006/25/EC On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation)(2006)OJ L 2006; 114/38
- [53] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/0470024275.app7>
- [54] CIE 15, Colorimetry, Vienna, 2004
- [55] CIE 69, Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters, Vienna, 1987
- [56] Lund D J, Marshall J, Mellerio J, Okuno T, Schulmeister K, Sliney D, Söderberg P, Stuck B, Van Norren D, and Zuclich J. A computerized approach to transmission and absorption characteristics of the human eye. CIE 203, 2012.
- [57] Chaopu, Y., Wenqing, F., Jiancheng, T., Fan, Y., Yanfeng, L., & Chun, L. (2018). Change of blue light hazard and circadian effect of LED backlight displayer with color temperature and age. *Optics express*, 26(21), 27021-27032.
- [58] Sliney D. 1984. Quantifying retinal irradiance levels in light damage experiments. *Curr. Eye Res.* 3(1): 175–179.

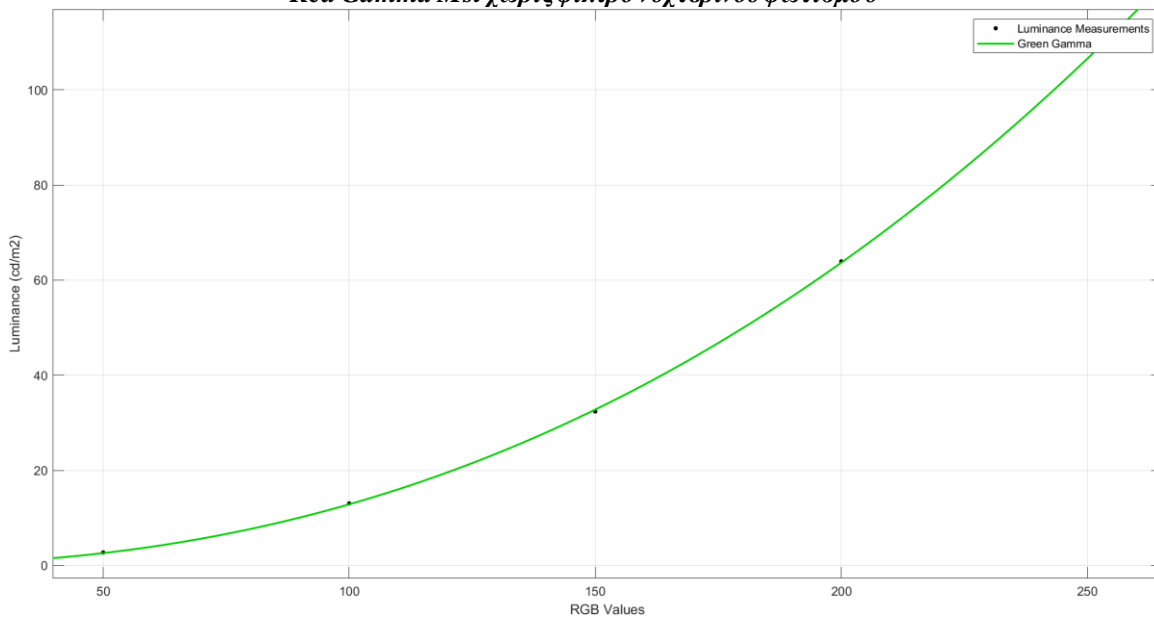


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

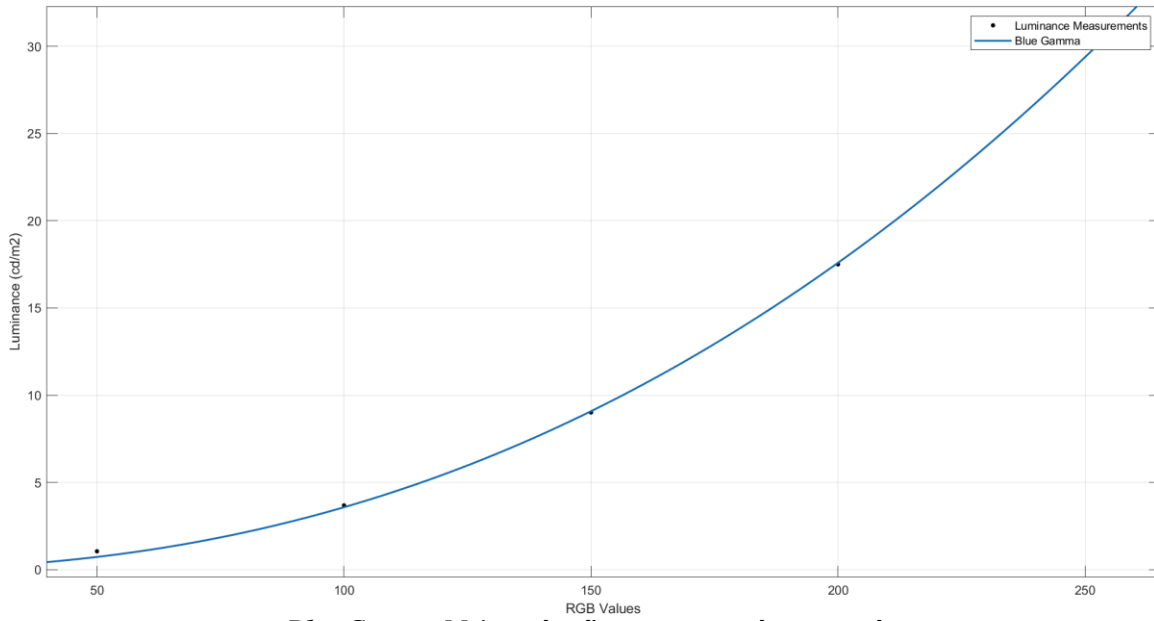
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΑΜΜΑ



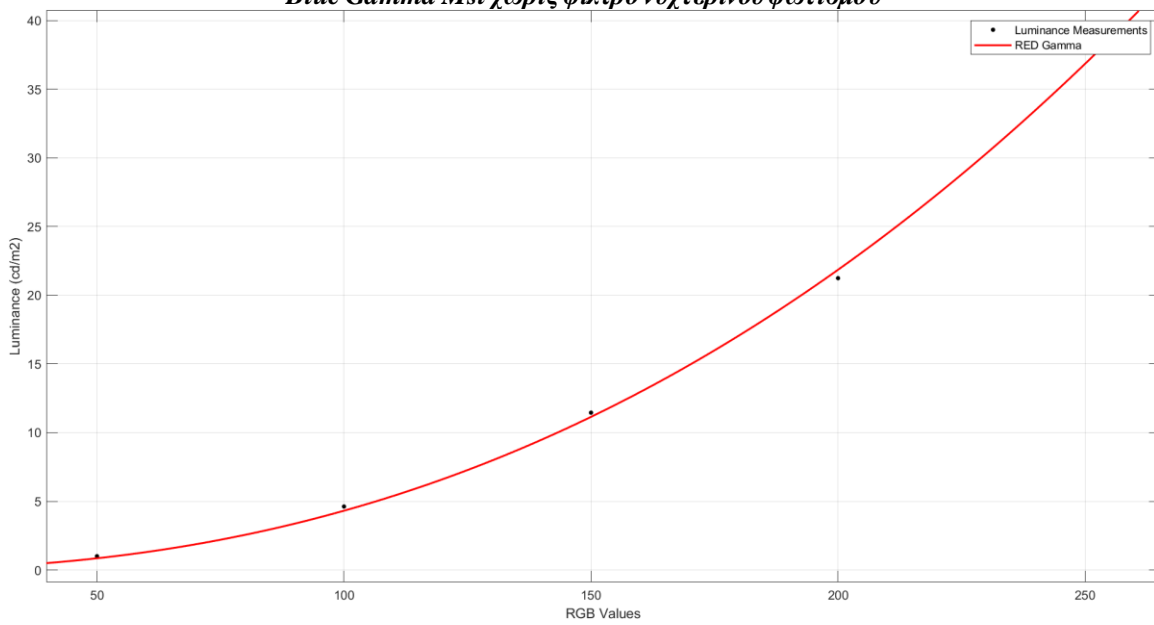
Red Gamma Msi χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



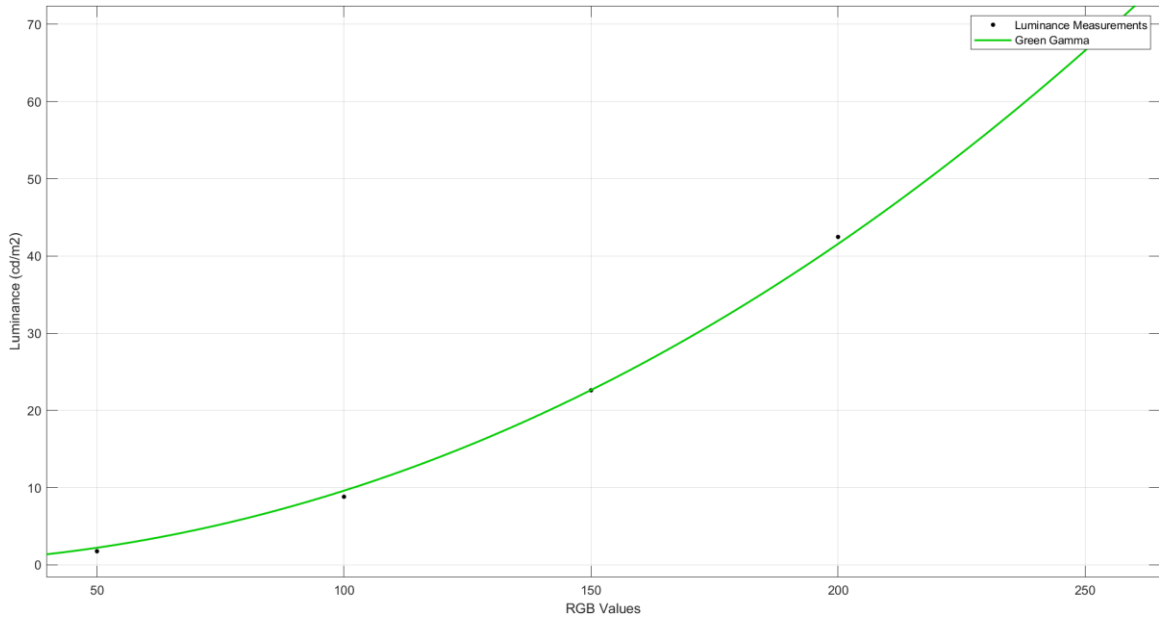
Green Gamma Msi χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



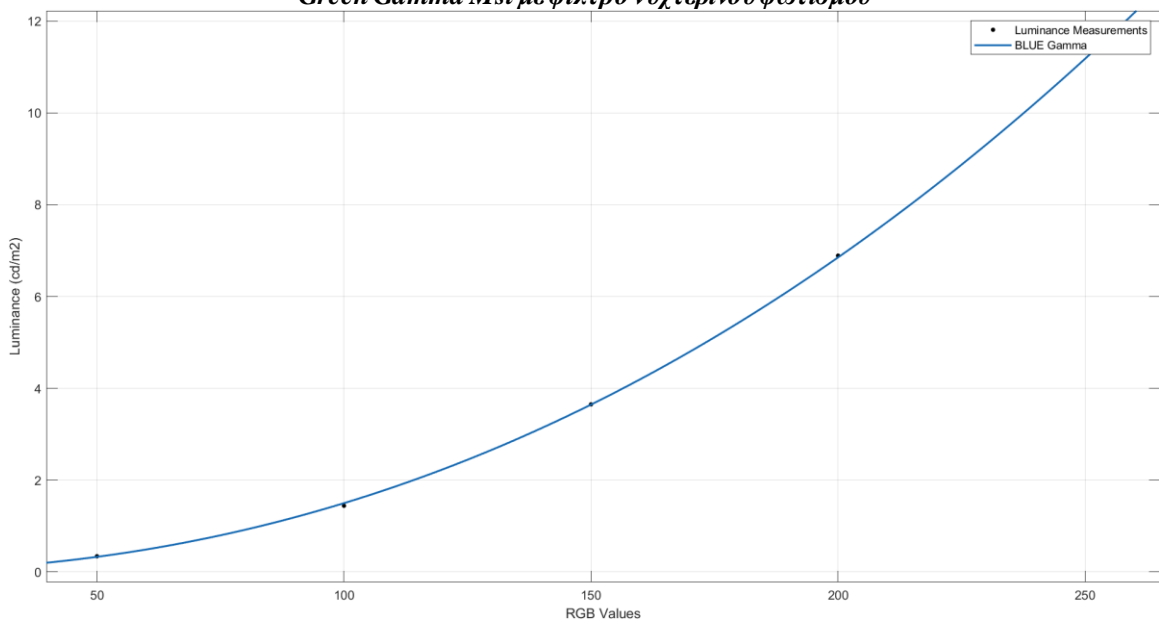
Blue Gamma Msi χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



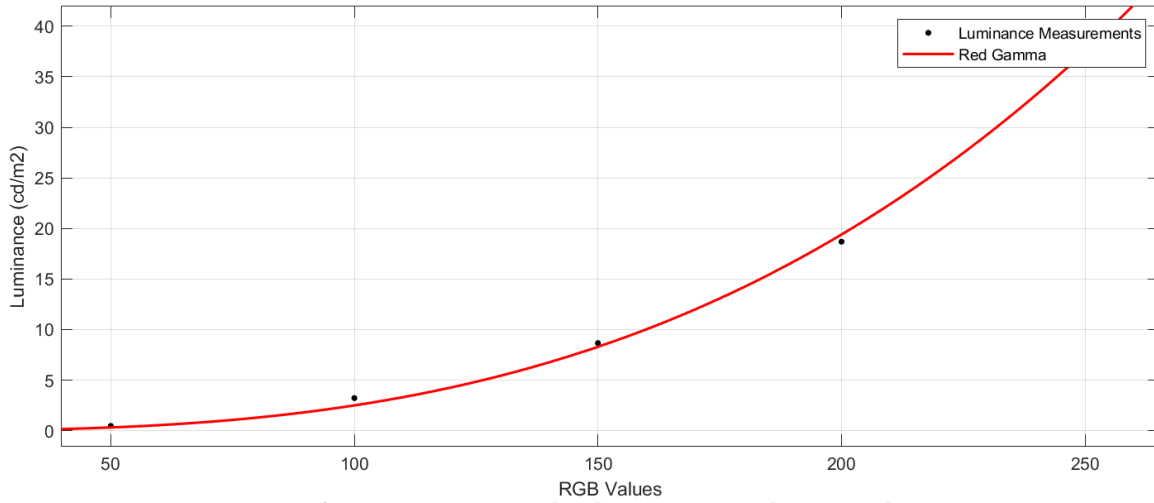
Red Gamma Msi με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



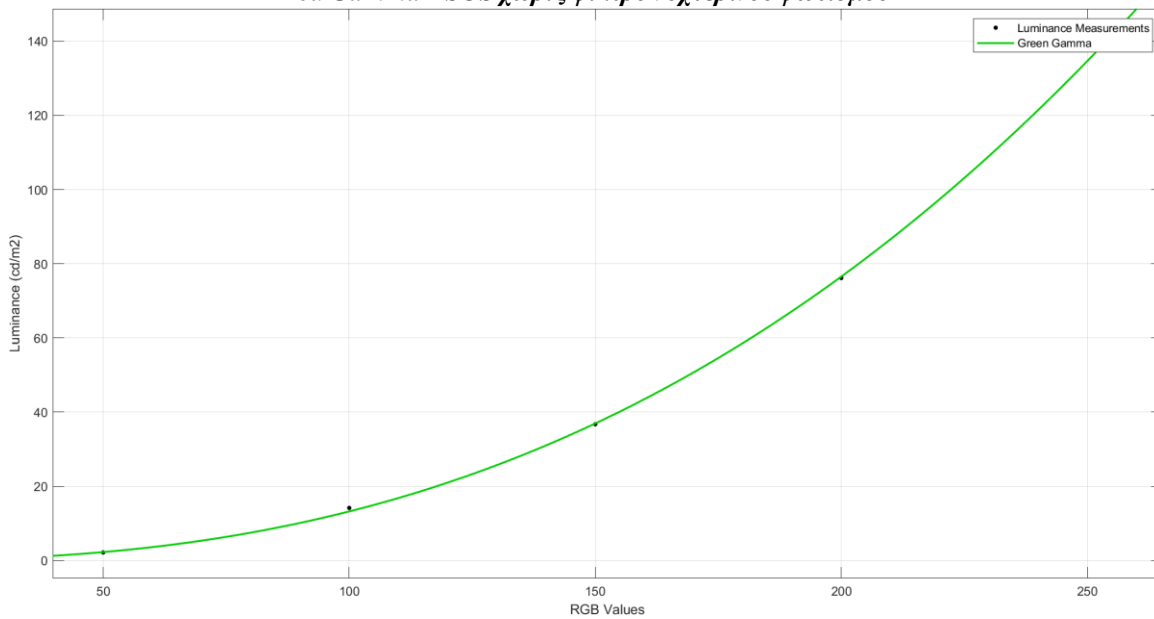
Green Gamma Msi με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



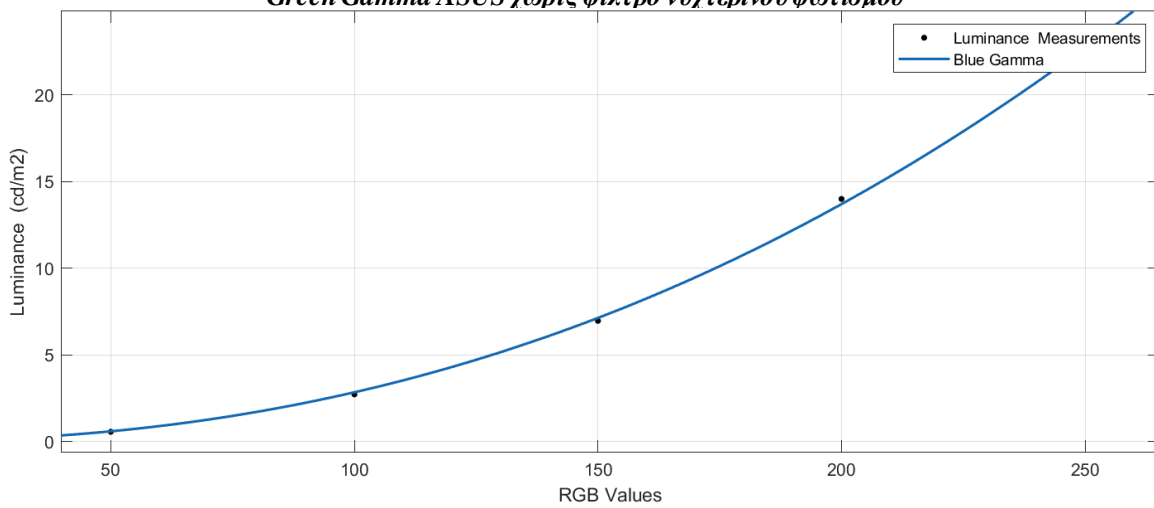
Blue Gamma Msi με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



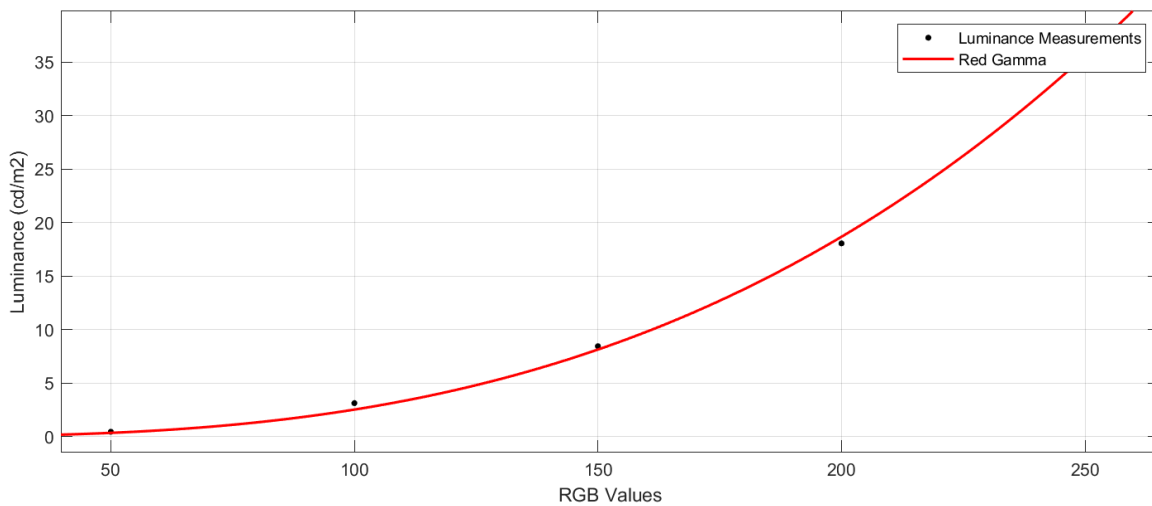
Red Gamma ASUS χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



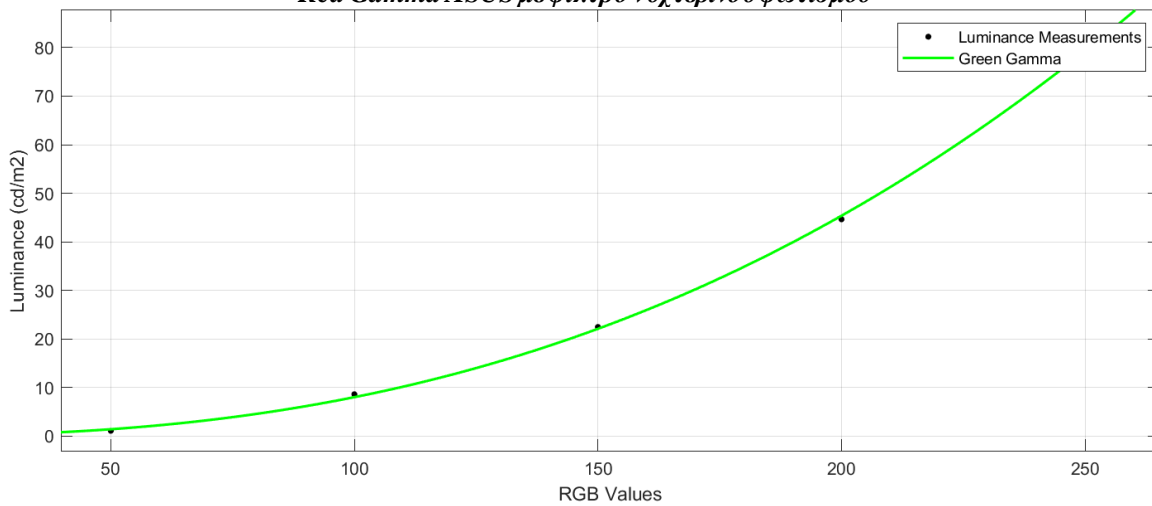
Green Gamma ASUS χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



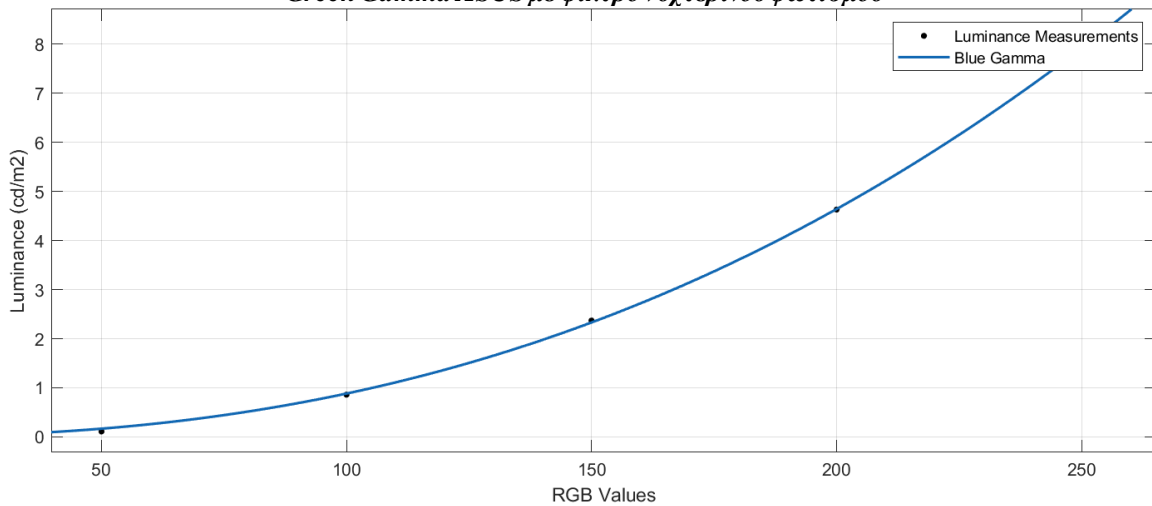
Blue Gamma ASUS χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



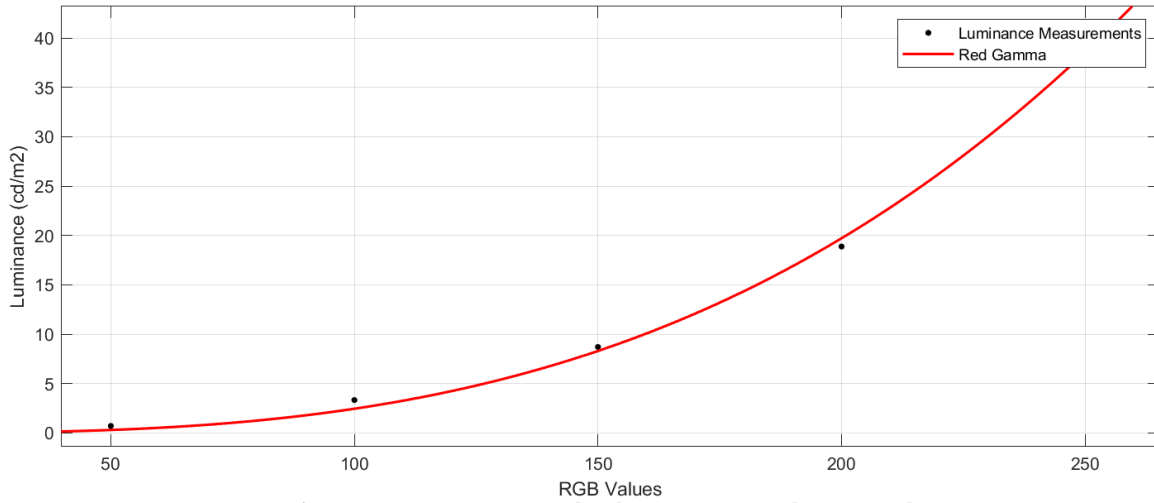
Red Gamma ASUS με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



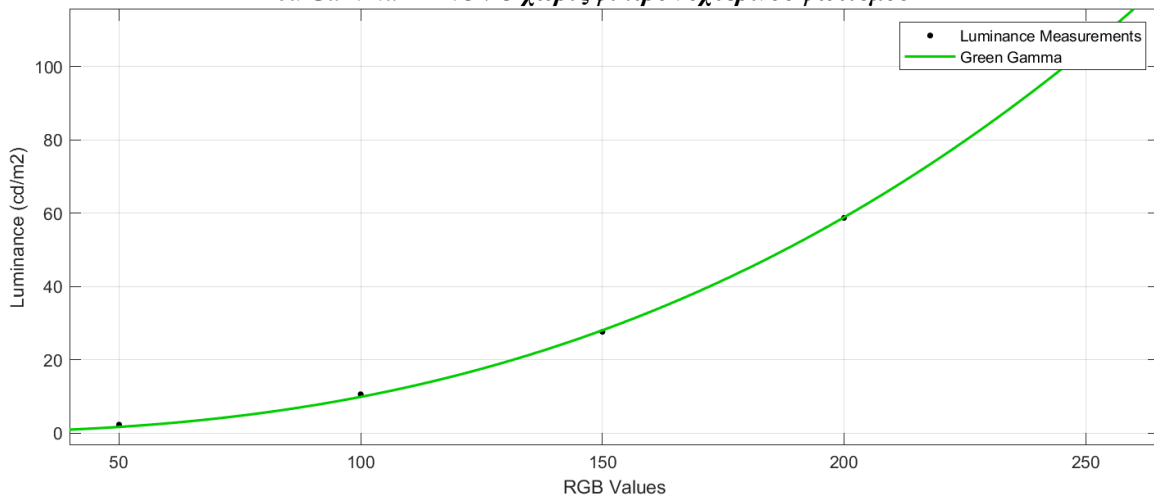
Green Gamma ASUS με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



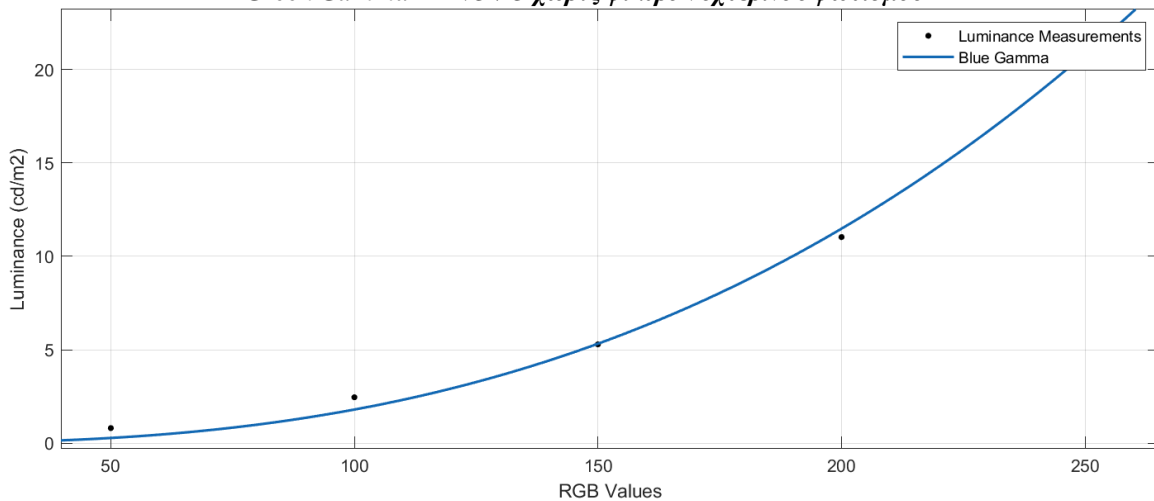
Blue Gamma ASUS με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



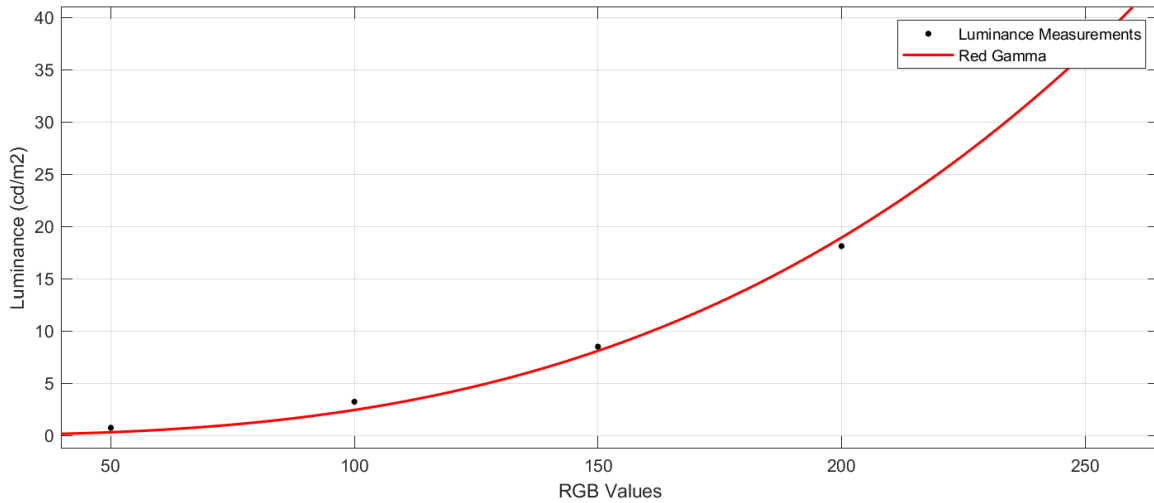
Red Gamma LENOVO χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



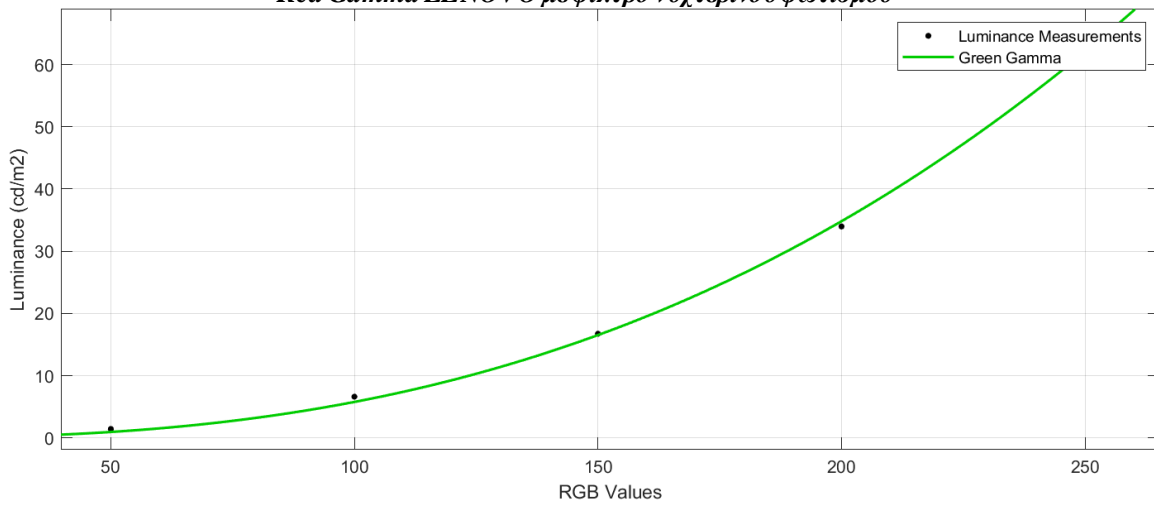
Green Gamma LENOVO χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



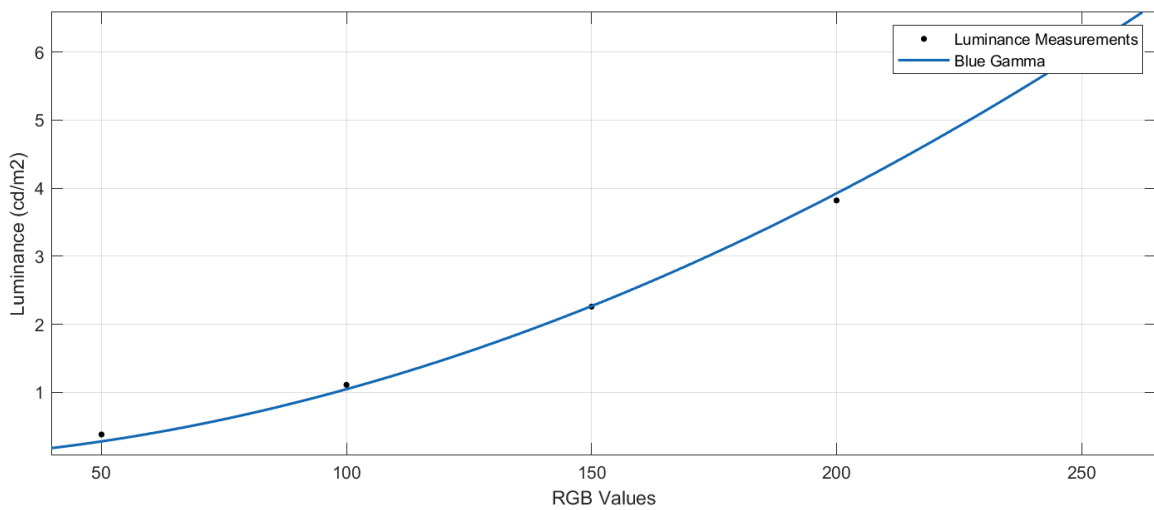
Blue Gamma LENOVO χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



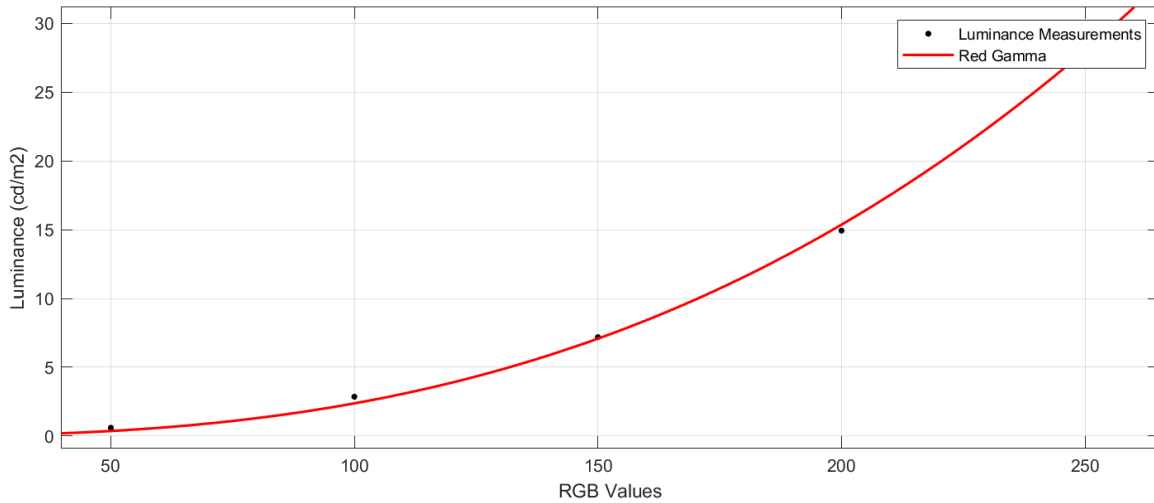
Red Gamma LENOVO με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



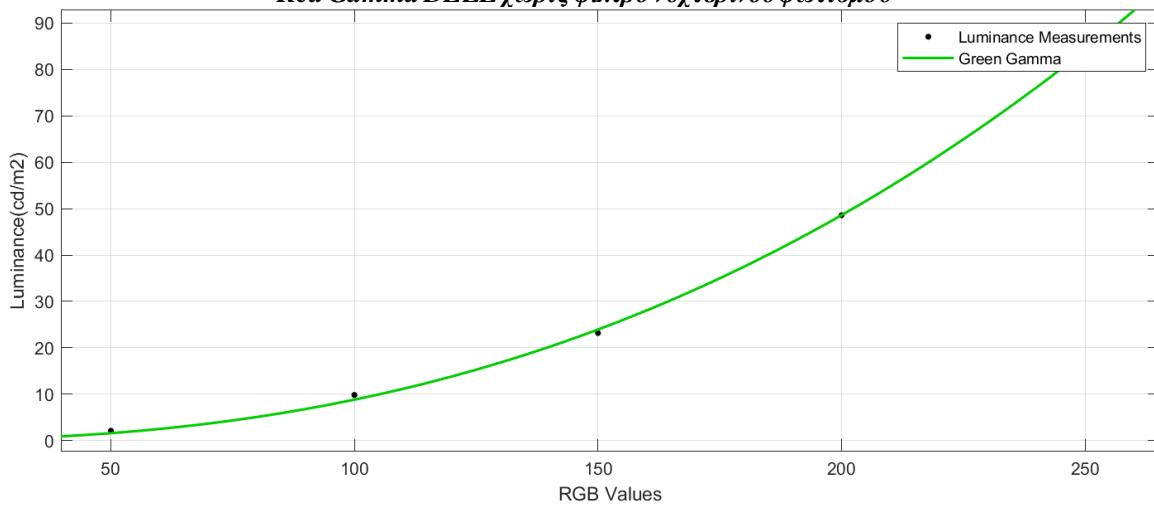
Green Gamma LENOVO με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



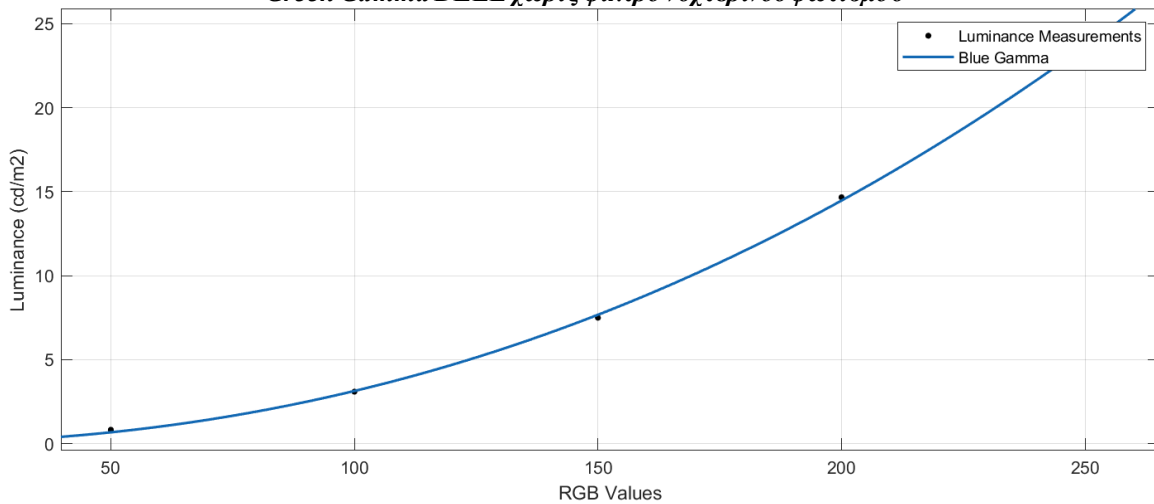
Blue Gamma LENOVO με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



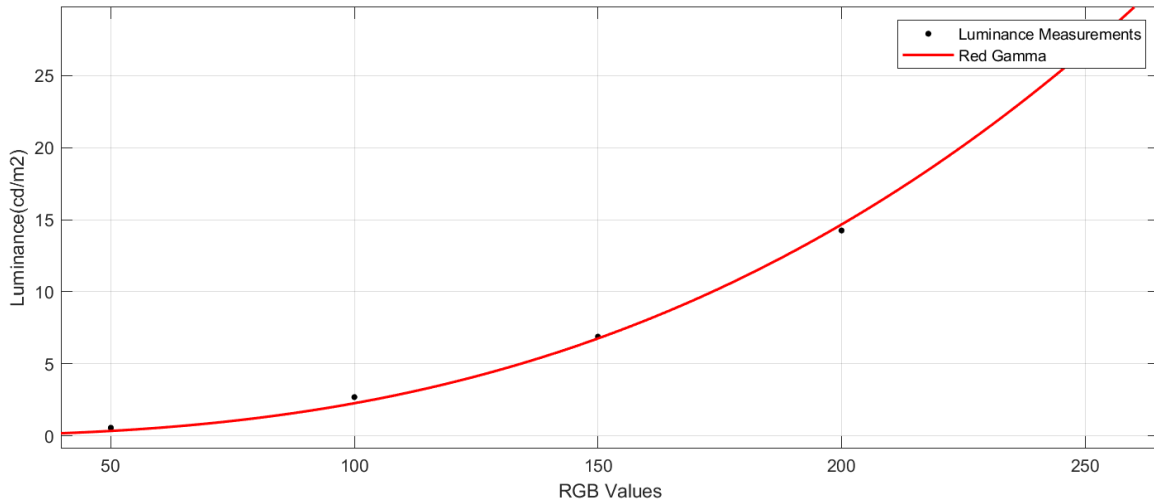
Red Gamma DELL χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



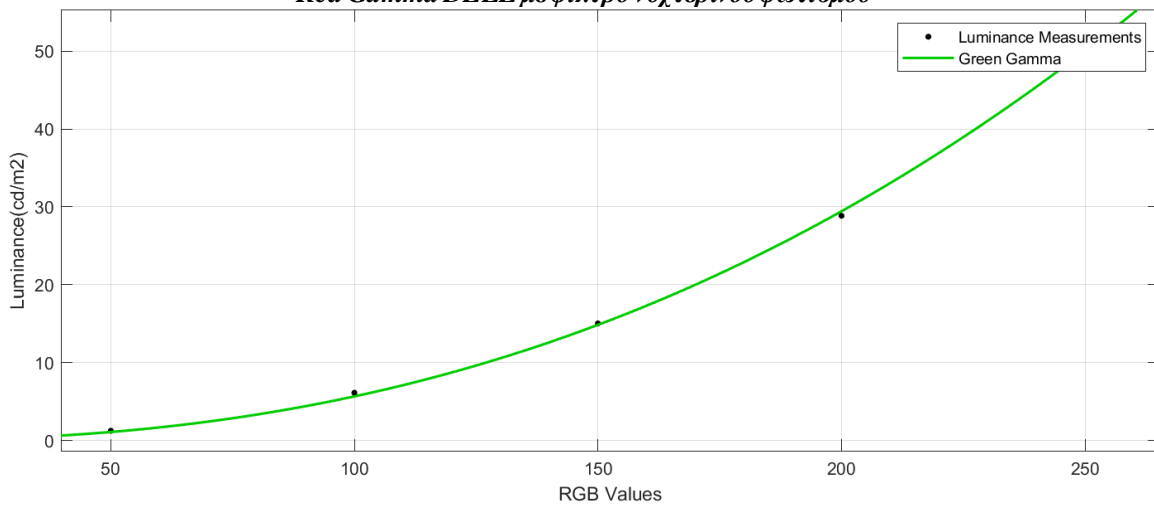
Green Gamma DELL χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



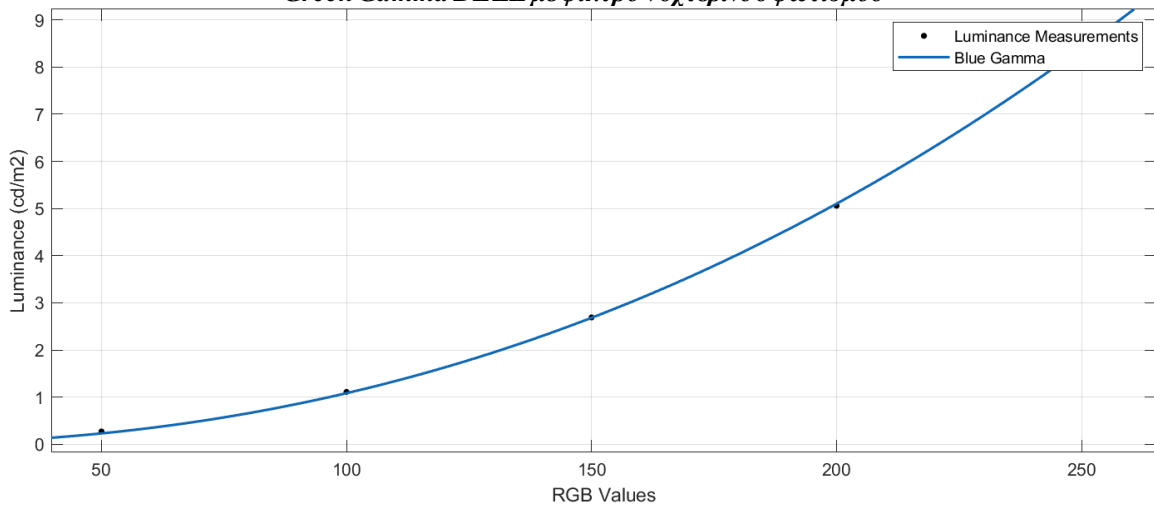
Blue Gamma DELL χωρίς φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



Red Gamma DELL με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



Green Gamma DELL με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



Blue Gamma DELL με φίλτρο νυχτερινού φωτισμού



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΤΙΜΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ $V(\lambda)$, $B(\lambda)$



Wavelength (nm)	V(λ)	B(λ)
360	0,0000126	0,0953697
361	0,0000141	0,0953494
362	0,0000158	0,0953324
363	0,0000176	0,0953195
364	0,0000197	0,0953115
365	0,0000220	0,0953094
366	0,0000246	0,0953144
367	0,0000275	0,0953277
368	0,0000307	0,0953511
369	0,0000342	0,0953865
370	0,0000381	0,0954361
371	0,0000424	0,0955025
372	0,0000472	0,0955889
373	0,0000525	0,0956987
374	0,0000584	0,0958363
375	0,0000648	0,0960065
376	0,0000720	0,0962150
377	0,0000799	0,0964687
378	0,0000886	0,0967754
379	0,0000982	0,0971443
380	0,0001088	0,0975866
381	0,0001205	0,0981151
382	0,0001334	0,0987454
383	0,0001475	0,0994958
384	0,0001630	0,1003881
385	0,0001801	0,1014487
386	0,0001989	0,1027087
387	0,0002194	0,1042057
388	0,0002420	0,1059840



389	0,0002667	0,1080967
390	0,0002938	0,1106064
391	0,0003235	0,1135865
392	0,0003560	0,1171231
393	0,0003914	0,1213151
394	0,0004302	0,1262763
395	0,0004726	0,1321349
396	0,0005188	0,1390340
397	0,0005692	0,1471311
398	0,0006242	0,1565958
399	0,0006841	0,1676080
400	0,0007493	0,1803535
401	0,0008202	0,1950202
402	0,0008974	0,2117924
403	0,0009813	0,2308494
404	0,0010723	0,2523722
405	0,0011712	0,2765735
406	0,0012785	0,3037755
407	0,0013947	0,3345558
408	0,0015207	0,3699586
409	0,0016571	0,4116769
410	0,0018047	0,4619934
411	0,0019644	0,5231940
412	0,0021369	0,5963124
413	0,0023233	0,6795222
414	0,0025245	0,7670607
415	0,0027415	0,8497546
416	0,0029756	0,9175714
417	0,0032277	0,9633133
418	0,0034992	0,9855340
419	0,0037914	0,9889598
420	0,0041056	0,9821654



421	0,0044434	0,9739195
422	0,0048062	0,9702095
423	0,0051956	0,9731843
424	0,0056134	0,9819075
425	0,0060614	0,9939384
426	0,0065413	1,0067397
427	0,0070552	1,0184384
428	0,0076052	1,0279861
429	0,0081933	1,0349953
430	0,0088219	1,0394963
431	0,0094933	1,0417425
432	0,0102099	1,0420864
433	0,0109744	1,0409105
434	0,0117894	1,0385889
435	0,0126577	1,0354644
436	0,0135822	1,0318340
437	0,0145659	1,0279387
438	0,0156119	1,0239580
439	0,0167235	1,0200080
440	0,0179041	1,0161432
441	0,0191570	1,0123602
442	0,0204859	1,0086053
443	0,0218945	1,0047827
444	0,0233866	1,0007640
445	0,0249661	0,9963984
446	0,0266371	0,9915226
447	0,0284037	0,9859703
448	0,0302702	0,9795805
449	0,0322409	0,9722052
450	0,0343204	0,9637148
451	0,0365131	0,9540039
452	0,0388238	0,9429940



453	0,0412571	0,9306367
454	0,0438179	0,9169152
455	0,0465111	0,9018454
456	0,0493416	0,8854765
457	0,0523146	0,8678906
458	0,0554350	0,8492029
459	0,0587081	0,8295602
460	0,0621389	0,8091398
461	0,0657326	0,7881460
462	0,0694946	0,7668070
463	0,0734299	0,7453681
464	0,0775437	0,7240847
465	0,0818414	0,7032113
466	0,0863279	0,6829896
467	0,0910084	0,6636343
468	0,0958879	0,6453177
469	0,1009714	0,6281549
470	0,1062637	0,6121904
471	0,1117696	0,5973879
472	0,1174937	0,5836253
473	0,1234404	0,5706966
474	0,1296142	0,5583199
475	0,1360190	0,5461544
476	0,1426589	0,5338233
477	0,1495375	0,5209423
478	0,1566584	0,5071505
479	0,1640247	0,4921417
480	0,1716394	0,4756914
481	0,1795051	0,4576784
482	0,1876241	0,4380969
483	0,1959984	0,4170586
484	0,2046297	0,3947848



485	0,2135192	0,3715888
486	0,2226677	0,3478513
487	0,2320757	0,3239910
488	0,2417431	0,3004338
489	0,2516696	0,2775840
490	0,2618541	0,2557999
491	0,2722954	0,2353751
492	0,2829914	0,2165273
493	0,2939397	0,1993947
494	0,3051374	0,1840388
495	0,3165808	0,1704521
496	0,3282661	0,1585700
497	0,3401883	0,1482844
498	0,3523425	0,1394578
499	0,3647226	0,1319360
500	0,3773223	0,1255598
501	0,3901345	0,1201736
502	0,4031515	0,1156316
503	0,4163651	0,1118022
504	0,4297665	0,1085698
505	0,4433461	0,1058352
506	0,4570937	0,1035149
507	0,4709987	0,1015397
508	0,4850498	0,0998525
509	0,4992351	0,0984070
510	0,5135419	0,0971653
511	0,5279573	0,0960963
512	0,5424676	0,0951746
513	0,5570587	0,0943792
514	0,5717158	0,0936922
515	0,5864237	0,0930989
516	0,6011668	0,0925864



517	0,6159288	0,0921438
518	0,6306933	0,0917616
519	0,6454431	0,0914316
520	0,6601609	0,0911464
521	0,6748291	0,0909000
522	0,6894295	0,0906867
523	0,7039439	0,0905018
524	0,7183537	0,0903412
525	0,7326401	0,0902013
526	0,7467843	0,0900790
527	0,7607672	0,0899715
528	0,7745697	0,0898766
529	0,7881725	0,0897923
530	0,8015566	0,0897169
531	0,8147028	0,0896489
532	0,8275921	0,0895872
533	0,8402056	0,0895306
534	0,8525246	0,0894784
535	0,8645305	0,0894297
536	0,8762053	0,0893839
537	0,8875310	0,0893406
538	0,8984901	0,0892993
539	0,9090654	0,0892597
540	0,9192404	0,0892213
541	0,9289988	0,0891841
542	0,9383251	0,0891478
543	0,9472041	0,0891121
544	0,9556216	0,0890771
545	0,9635637	0,0890425
546	0,9710174	0,0890084
547	0,9779704	0,0889745
548	0,9844111	0,0889409



549	0,9903288	0,0889075
550	0,9957136	0,0888742
551	1,0005563	0,0888411
552	1,0048489	0,0888081
553	1,0085840	0,0887752
554	1,0117553	0,0887423
555	1,0143574	0,0887095
556	1,0163860	0,0886767
557	1,0178374	0,0886440
558	1,0187092	0,0886114
559	1,0190000	0,0885787
560	1,0187092	0,0885461
561	1,0178374	0,0885135
562	1,0163860	0,0884809
563	1,0143574	0,0884483
564	1,0117553	0,0884158
565	1,0085840	0,0883833
566	1,0048489	0,0883507
567	1,0005563	0,0883182
568	0,9957136	0,0882857
569	0,9903288	0,0882533
570	0,9844111	0,0882208
571	0,9779704	0,0881884
572	0,9710174	0,0881559
573	0,9635637	0,0881235
574	0,9556216	0,0880911
575	0,9472041	0,0880587
576	0,9383251	0,0880263
577	0,9289988	0,0879939
578	0,9192404	0,0879616
579	0,9090654	0,0879292
580	0,8984901	0,0878969



581	0,8875310	0,0878645
582	0,8762053	0,0878322
583	0,8645305	0,0877999
584	0,8525246	0,0877676
585	0,8402056	0,0877353
586	0,8275921	0,0877031
587	0,8147028	0,0876708
588	0,8015566	0,0876386
589	0,7881725	0,0876063
590	0,7745697	0,0875741
591	0,7607672	0,0875419
592	0,7467843	0,0875097
593	0,7326401	0,0874775
594	0,7183537	0,0874453
595	0,7039439	0,0874132
596	0,6894295	0,0873810
597	0,6748291	0,0873489
598	0,6601609	0,0873168
599	0,6454431	0,0872847
600	0,6306933	0,0872526
601	0,6159288	0,0872205
602	0,6011668	0,0871884
603	0,5864237	0,0871563
604	0,5717158	0,0871243
605	0,5570587	0,0870922
606	0,5424676	0,0870602
607	0,5279573	0,0870282
608	0,5135419	0,0869962
609	0,4992351	0,0869642
610	0,4850498	0,0869322
611	0,4709987	0,0869002
612	0,4570937	0,0868683



613	0,4433461	0,0868363
614	0,4297665	0,0868044
615	0,4163651	0,0867725
616	0,4031515	0,0867405
617	0,3901345	0,0867086
618	0,3773223	0,0866768
619	0,3647226	0,0866449
620	0,3523425	0,0866130
621	0,3401883	0,0865812
622	0,3282661	0,0865493
623	0,3165808	0,0865175
624	0,3051374	0,0864857
625	0,2939397	0,0864539
626	0,2829914	0,0864221
627	0,2722954	0,0863903
628	0,2618541	0,0863585
629	0,2516696	0,0863268
630	0,2417431	0,0862950
631	0,2320757	0,0862633
632	0,2226677	0,0862316
633	0,2135192	0,0861999
634	0,2046297	0,0861682
635	0,1959984	0,0861365
636	0,1876241	0,0861048
637	0,1795051	0,0860731
638	0,1716394	0,0860415
639	0,1640247	0,0860098
640	0,1566584	0,0859782
641	0,1495375	0,0859466
642	0,1426589	0,0859150
643	0,1360190	0,0858834
644	0,1296142	0,0858518



645	0,1234404	0,0858202
646	0,1174937	0,0857887
647	0,1117696	0,0857571
648	0,1062637	0,0857256
649	0,1009714	0,0856941
650	0,0958879	0,0856626
651	0,0910084	0,0856311
652	0,0863279	0,0855996
653	0,0818414	0,0855681
654	0,0775437	0,0855366
655	0,0734299	0,0855052
656	0,0694946	0,0854737
657	0,0657326	0,0854423
658	0,0621389	0,0854109
659	0,0587081	0,0853795
660	0,0554350	0,0853481
661	0,0523146	0,0853167
662	0,0493416	0,0852853
663	0,0465111	0,0852540
664	0,0438179	0,0852226
665	0,0412571	0,0851913
666	0,0388238	0,0851599
667	0,0365131	0,0851286
668	0,0343204	0,0850973
669	0,0322409	0,0850660
670	0,0302702	0,0850348
671	0,0284037	0,0850035
672	0,0266371	0,0849722
673	0,0249661	0,0849410
674	0,0233866	0,0849098
675	0,0218945	0,0848785
676	0,0204859	0,0848473



677	0,0191570	0,0848161
678	0,0179041	0,0847849
679	0,0167235	0,0847538
680	0,0156119	0,0847226
681	0,0145659	0,0846915
682	0,0135822	0,0846603
683	0,0126577	0,0846292
684	0,0117894	0,0845981
685	0,0109744	0,0845670
686	0,0102099	0,0845359
687	0,0094933	0,0845048
688	0,0088219	0,0844737
689	0,0081933	0,0844427
690	0,0076052	0,0844116
691	0,0070552	0,0843806
692	0,0065413	0,0843495
693	0,0060614	0,0843185
694	0,0056134	0,0842875
695	0,0051956	0,0842565
696	0,0048062	0,0842256
697	0,0044434	0,0841946
698	0,0041056	0,0841636
699	0,0037914	0,0841327
700	0,0034992	0,0841018
701	0,0032277	0,0840708
702	0,0029756	0,0840399
703	0,0027415	0,0840090
704	0,0025245	0,0839781
705	0,0023233	0,0839473
706	0,0021369	0,0839164
707	0,0019644	0,0838855
708	0,0018047	0,0838547



709	0,0016571	0,0838239
710	0,0015207	0,0837931
711	0,0013947	0,0837622
712	0,0012785	0,0837314
713	0,0011712	0,0837007
714	0,0010723	0,0836699
715	0,0009813	0,0836391
716	0,0008974	0,0836084
717	0,0008202	0,0835776
718	0,0007493	0,0835469
719	0,0006841	0,0835162
720	0,0006242	0,0834855
721	0,0005692	0,0834548
722	0,0005188	0,0834241
723	0,0004726	0,0833934
724	0,0004302	0,0833628
725	0,0003914	0,0833321
726	0,0003560	0,0833015
727	0,0003235	0,0832709
728	0,0002938	0,0832403
729	0,0002667	0,0832097
730	0,0002420	0,0831791
731	0,0002194	0,0831485
732	0,0001989	0,0831179
733	0,0001801	0,0830874
734	0,0001630	0,0830568
735	0,0001475	0,0830263
736	0,0001334	0,0829958
737	0,0001205	0,0829652
738	0,0001088	0,0829347
739	0,0000982	0,0829043
740	0,0000886	0,0828738



741	0,0000799	0,0828433
742	0,0000720	0,0828129
743	0,0000648	0,0827824
744	0,0000584	0,0827520
745	0,0000525	0,0827216
746	0,0000472	0,0826911
747	0,0000424	0,0826607
748	0,0000381	0,0826304
749	0,0000342	0,0826000
750	0,0000307	0,0825696
751	0,0000275	0,0825393
752	0,0000246	0,0825089
753	0,0000220	0,0824786
754	0,0000197	0,0824483
755	0,0000176	0,0824180
756	0,0000158	0,0823877
757	0,0000141	0,0823574
758	0,0000126	0,0823271
759	0,0000112	0,0822968
760	0,0000100	0,0822666
761	0,0000089	0,0822363
762	0,0000080	0,0822061
763	0,0000071	0,0821759
764	0,0000063	0,0821457
765	0,0000056	0,0821155
766	0,0000050	0,0820853
767	0,0000044	0,0820551
768	0,0000039	0,0820250
769	0,0000035	0,0819948
770	0,0000031	0,0819647
771	0,0000027	0,0819345
772	0,0000024	0,0819044



773	0,0000021	0,0818743
774	0,0000019	0,0818442
775	0,0000017	0,0818141
776	0,0000015	0,0817841
777	0,0000013	0,0817540
778	0,0000012	0,0817239
779	0,0000010	0,0816939
780	0,0000009	0,0816639