



Εικόνα 136. γλυπτά υπό το άμεσο φως του ηλίου, National Gallery of art, East building, Washington DC- πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

Β' ΜΕΡΟΣ  
ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΜΟΥΣΕΙΩΝ

---

## ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΟΥΣΕΙΩΝ

Σύμφωνα με τον Louis Kahn το μουσείο ορίζεται από τη σχέση ανάμεσα στο θεατή και το έκθεμα υπό το φως. Το μουσείο αποτελεί χώρο συνάντησης εξειδικευμένου κοινού αλλά και απλών επισκεπτών με σκοπό τη διερεύνηση των εκθεμάτων. Είναι ένας τόπος εκμάθησης, ανταλλαγής γνώσης και κοινωνικής συνεύρεσης. Τα εκθέματα με τη σειρά τους είναι αυτά που αποτελούν τον πόλο έλξης για το εκάστοτε μουσείο και ντοκουμέντα πολιτιστικής κληρονομιάς. Μουσείο, εκθέματα και φωτισμός αποτελούν ένα αδιαίρετο σύνολο το οποίο πρέπει να μελετάται από εξειδικευμένους μελετητές για την όσο το δυνατόν καλύτερη μετάδοση του περιεχομένου της έκθεσης.

Παραδοσιακά τα ίδια τα αντικείμενα της έκθεσης αποτελούν το βασικό κριτήριο για την οργάνωση του χώρου και της έκθεσης γενικότερα, με τον περιβάλλοντα χώρο να παίζει ένα ρόλο υποστηρικτικό και συνοδευτικό προς αυτά. Στο παρελθόν τα μουσεία εξαρτιόνταν άμεσα από το κέλυφός τους για ζητήματα φωτισμού, αερισμού, θέρμανσης και ψύξης, με αποτέλεσμα η αρχιτεκτονική τους να επηρεάζεται από αυτές τις ανάγκες. Φεγγίτες και φωτεινές οροφές είναι στοιχεία που ενσωματώνονταν στα μουσεία για να μεγιστοποιείται η επιφάνεια στους τοίχους που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την έκθεση των έργων τέχνης. Η δημιουργία στενόμακρων χώρων με μικρό βάθος διευκόλυνε την καλύτερη κατανομή του φωτισμού στο χώρο, ενώ οι χοντροί τοίχοι εξυπηρετούσαν τις μονωτικές ανάγκες του κτιρίου. Επίσης πολλά έργα σχεδιάζονταν ώστε να αλληλεπιδρούν με το φυσικό περιβάλλον και ο φυσικός φωτισμός μπορούσε να αποδώσει αυτή την αίσθηση με τον καλύτερο τρόπο.

Με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο σχετικά με τον τεχνητό φωτισμό και συστήματα θέρμανσης - αερισμού, ο σχεδιασμός των μουσείων έτεινε προς το «μαύρο κουτί» όπου υπήρχε απόλυτος έλεγχος των εσωτερικών συνθηκών του χώρου και τα έργα εκτίθονταν σε ουδέτερο υπόβαθρο. Οι νέες μορφές έργων μπορεί να περιλαμβάνουν οπτικοακουστικό υλικό με χρήση πολυμέσων και εγκαταστάσεων που δεν απαιτούν απόλυτο έλεγχο στις συνθήκες έκθεσης.

Τα τελευταία χρόνια τα μουσεία αποτελούν σημαντικά στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς για την πόλη που τα φιλοξενούν και έχει αναπτυχθεί έντονα η τάση να λειτουργεί ακόμα και το ίδιο το μουσείο ως έκθεμα. Σε κάθε περίπτωση ο σχεδιασμός του φωτισμού σε ένα μουσείο αποτελεί εξίσου σημαντικό κομμάτι με το σχεδιασμό της ίδιας της έκθεσης, αφού ο φωτισμός είναι αναπόσπαστο μέρος της αρχιτεκτονικής. Στόχος πάντα είναι η δημιουργία ενός χώρου που να συγκεντρώνει και να μεταδίδει σωστά την εκτιθέμενη πληροφορία ώστε να διασκεδάσει και να επιμορφώσει το κοινό, μεριμνώντας παράλληλα για την προστασία και συντήρηση των εκθεμάτων. Σήμερα τα μουσεία έχουν αποκτήσει ακόμα πιο ευρύτερο ρόλο συνδυάζοντας την έκθεση των μόνιμων συλλογών με προσωρινές εκθέσεις, χώρους αναψυχής, πολλαπλούς χώρους δραστηριοτήτων και ερευνητικών εργασιών. Έτσι το μουσείο έχει ξεφύγει από την ιδιότητα του «container» δηλ. του υποδοχέα καταστάσεων, έχοντας μετατραπεί σε παραγωγό και επεξεργαστή κοινωνικών διεργασιών και προβληματισμών γύρω από την τέχνη και τη ζωή.

Ο σχεδιαστής φωτισμού και ο αρχιτέκτονας πρέπει να κατανοήσουν από την αρχή του σχεδιασμού τους το ύψος και την ιδέα της έκθεσης έτσι ώστε να υιοθετηθεί η καλύτερη μελέτη φωτισμού που θα είναι αντιπροσωπευτική και υποστηρικτική του τύπου της εκάστοτε έκθεσης και δε θα λειτουργεί καταστροφικά προς τα εκθέματα.

Το περιεχόμενο της έκθεσης και το ίδιο το αρχιτεκτονικό υπόβαθρο είναι αυτά που θα ορίσουν σε πρωταρχικό στάδιο το πλαίσιο στο οποίο θα κινηθεί ο μελετητής φωτισμού. Ανάλογα με το είδος των εκθεμάτων μπορεί να αποφασιστεί η χρήση ή όχι φυσικού φωτός και σε περίπτωση που η φύση των εκθεμάτων (για λόγους προστασίας) επιτρέπει την ηλιακή ακτινοβολία, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη συνύπαρξη του τεχνητού με το φυσικό φως κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και πώς το τεχνητό θα αντικαθιστά το φυσικό φως το βράδυ. Το σημαντικότερο είναι ο φωτισμός να χρησιμοποιείται ώστε να αναδεικνύει τη φύση των έργων τέχνης, όπως την τεχνοτροπία των έργων ζωγραφικής και την επιφάνεια των γλυπτών (λεία, τραχεία κλπ). Επίσης δεν πρέπει να αγνοούνται από το φωτισμό οι

επιγραφές που παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τα έργα και οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με τα ίδια τα έργα.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης φυσικού φωτός είναι ότι έχει καλύτερη ποιότητα φωτός και κατά συνέπεια είναι πιο ευχάριστο στον άνθρωπο, και ότι αναδεικνύει την τρισδιάστατη υφή των αντικειμένων παρουσιάζοντας συνεχείς εναλλαγές στην ένταση αλλά και στον τρόπο που πέφτει σε μια επιφάνεια. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις εκθεσιακών χώρων χρησιμοποιούνται σκόπιμα ανοίγματα που προσφέρουν όχι μόνο φυσικό φως αλλά και θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον, ξεκουράζοντας και προσανατολίζοντας τον επισκέπτη. Το σημαντικότερο όμως, ειδικά στην περίπτωση που αποφασιστεί η χρήση φυσικού φωτός, είναι να εκτιμηθούν οι πιθανές επιδράσεις που μπορεί αυτό να επιφέρει στα εκθέματα (υπερθέρμανση από την υπέρυθρη ακτινοβολία, υπεριώδης ακτινοβολία, θάμβωση, σκιές).

Το σύστημα φωτισμού πρέπει να λειτουργεί εξίσου καλά για όλες τις εκθέσεις που μπορεί να λάβουν χώρα μελλοντικά στο μουσείο, εισάγοντας ως βασικό στοιχείο σχεδιασμού την προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές απαιτήσεις χώρου και λειτουργιών. Από την αρχή του σχεδιασμού του μουσείου είναι σημαντικό να αποφασιστεί το εύρος των εκθέσεων που μπορούν να φιλοξενηθούν. Αν το μουσείο π.χ. προορίζεται μόνο για εκθέσεις ζωγραφικής χρειάζεται πού μικρότερη ευελιξία απ' ότι αν δύναται να φιλοξενηθούν εκθέσεις κάθε είδους και μάλιστα σε χώρους ελεύθερης κάτοψης.

Ο φωτισμός αποτελεί το μεγαλύτερο κομμάτι των καθημερινών λειτουργικών εξόδων ενός μουσείου, αποτελώντας συνήθως μεγάλο κόστος, πράγμα που σημαίνει ότι η χρήση φυσικού φωτός μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό τα έξοδα, παρά το ίσως αρχικά αυξημένο κόστος μελέτης και εγκατάστασης. Επίσης υπάρχει και σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος από άποψη ενεργειακής κατανάλωσης. Τέλος πρέπει να αναφερθούμε και στο φωτισμό ασφαλείας για έκτακτη ανάγκη που πρέπει να δρα υποστηρικτικά και μέσα στα πλαίσια του όλου συστήματος.

Εικόνα 137. (αριστερά) το μουσείο Guggenheim στο Bilbao, αρχ. Frank o Gehry - πηγή: Google

Εικόνα 138. (δεξιά) ανοίγματα που προσφέρουν εξωτερική θέα, Louisiana Gallery - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)

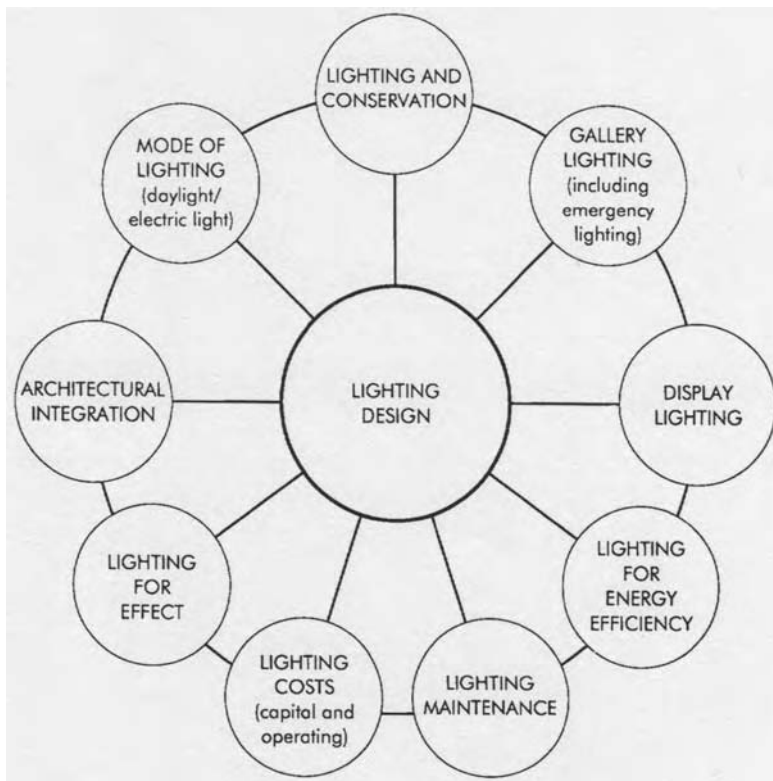


Ο Richard Kelly (1919 - 1977) εισήγαγε τη θεωρία του ποιοτικού φωτισμού με βάση την ψυχολογία, το θεατρικό φωτισμό και τις ιδιαίτερες ποιότητες του φωτός, ξεφεύγοντας από την τυπική χρήση του ομοιόμορφου φωτισμού που καλύπτει μόνο τις ποσοτικές φωτομετρικές απαιτήσεις. Έτσι διέκρινε τρεις τύπους για το σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού, που συνοψίζονται στα εξής:

- διάχυτος φωτισμός (ambient luminescence), που παρέχει το γενικό φωτισμό του χώρου, ώστε να είναι ορατά τα αντικείμενα και να διευκολύνεται η κίνηση στο χώρο. Ο διάχυτος φωτισμός αποτελεί τη βάση για ένα πιο πολύπλοκο σύστημα φωτισμού που θα εφαρμοστεί πάνω σε αυτό για να αναδείξει επί μέρους στοιχεία.

- η εστίαση σε συγκεκριμένα αντικείμενα (focal glow) είναι ο τρόπος για να τονιστεί η διαφορετικότητα των στοιχείων του χώρου. Η χρήση του φωτός σηματοδοτεί σημεία αναφοράς που περιέχουν σημαντικές πληροφορίες και ξεχωρίζουν από το υπόβαθρο, όντας πιο φωτεινά. Με χρήση διαφορετικών εντάσεων φωτισμού μπορεί να σηματοδοτηθεί και η ιεραρχία αυτών των αντικειμένων.

- παιχνίδι με διαφορετικά επίπεδα λαμπροτήτων (play of brilliants). Βασίζεται στο γεγονός ότι το φως δε χρησιμοποιείται μόνο για να φωτίσει αντικείμενα και να μας δώσει οπτικές πληροφορίες, αλλά μπορεί να αποτελέσει από μόνο του πηγή πληροφορίας και στοιχείο του χώρου.



Εικόνα 139. διάγραμμα που δείχνει τα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού σε μουσεία και εκθέσεις - πηγή: CIBSE, *Lighting for museums and art galleries* (1994)



Εικόνα 140. τα τρία στοιχεία της θεωρίας ποιοτικού φωτισμού του Richard Kelly - πηγή: Erco guide

## ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο φυσικός φωτισμός, όπως έχει ήδη αναλυθεί, έχει σημαντικά πλεονεκτήματα και αποτελεί θέλητρο για ένα εκθεσιακό χώρο, αν και συχνά αποκλείεται για λόγους προστασίας των εκθεμάτων. Οι εναλλαγές στην ένταση και την κατεύθυνση του φωτός σε συνδυασμό με την άριστη χρωματική απόδοση που προσφέρει, αποτελούν στοιχεία που μπορούν να δώσουν ένταση και ποιότητα στο χώρο και να βοηθήσουν στην περιήγηση των επισκεπτών στο χώρο.

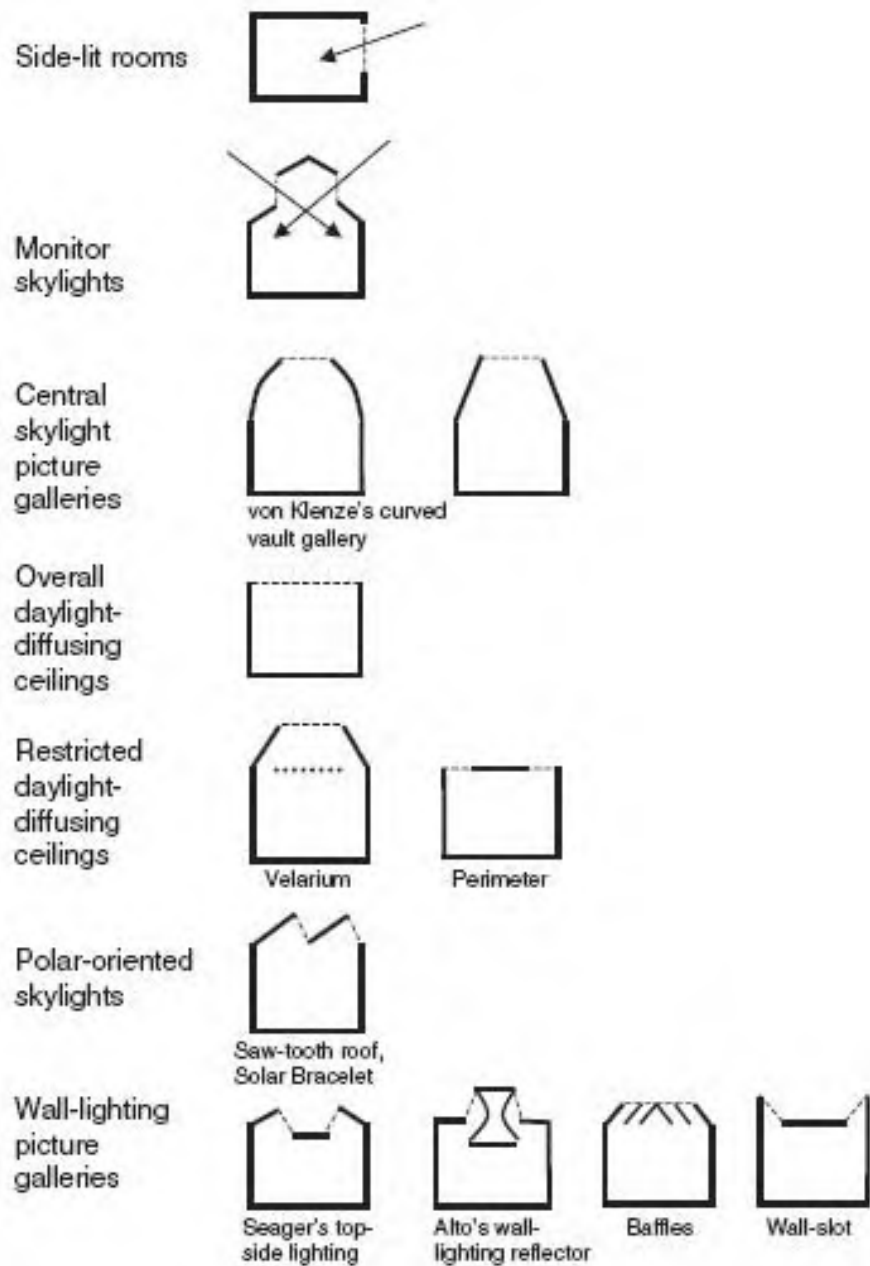
Η εισαγωγή φυσικού φωτός σε ένα τέτοιο χώρο εισάγει ταυτόχρονα την ανάγκη για έλεγχο του ηλιακού φωτός, απαιτώντας πολύπλοκα συστήματα μεγάλης ακρίβειας. Ο έλεγχος του φυσικού φωτός μπορεί να γίνει με διαχυτικά υλικά, σκίαστρα και περσίδες που προσαρμόζονται συνεχώς στην κίνηση του ήλιου συνήθως ηλεκτροκίνητα με τη χρήση αισθητήρα αλλά και με τη χρήση ειδικών φίλτρων που απορροφούν τη βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία. Επίσης πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη θέση των ανοιγμάτων ώστε να αποφεύγονται προβλήματα θάμβωσης (άμεσης ή από ανάκλαση πάνω στα εκθέματα) και εμφάνιση των ηλιακών ιχνών στο χώρο.

Το ζήτημα είναι αφού αποφασιστούν τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού σε σχέση με τη φύση των εκθεμάτων, να οριστεί η χρήση του φυσικού φωτός. Αν δηλαδή χρησιμοποιηθεί για να φωτίσει τα εκθέματα, πρέπει να κατευθυνθεί όσο δυνατόν περισσότερο φως σε αυτά. Σε αντίθετη περίπτωση, αν το φυσικό φως φωτίζει γενικά το χώρο, τότε πρέπει να ακολουθηθεί διαφορετική προσέγγιση για την ανάδειξη των αντικειμένων, σε συνδυασμό με τεχνητό φωτισμό, οπότε πρέπει να δοθεί προσοχή στη σωστή χρωματική ανάμειξη των διαφορετικών πηγών φωτισμού. Σε κάθε περίπτωση πάντως είναι σημαντικό να υπάρχουν εντάσεις στο χώρο, τονίζοντας πάντα τα εκθέματα και κατευθύνοντας σε αυτά το περισσότερο φως ώστε να αναδειχθούν από το υπόβαθρο, διατηρώντας ωστόσο μια αλληλεπίδραση με τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες, ώστε να ικανοποιείται το αίσθημα του επισκέπτη.

Αυτό που πρέπει να εξασφαλίσουν οι σχεδιαστές σε μουσεία που φωτίζονται με φυσικό τρόπο είναι διάχυτο φως απαλλαγμένο από την υπεριώδη ακτινοβολία, και παράλληλα ελεγχόμενο ώστε να εξασφαλίσει τις καλύτερες οπτικές συνθήκες θέασης των εκθεμάτων και τη μικρότερη αποδεκτή φθορά σε αυτά. Έτσι παρ' όλο που όλες αυτές οι παράμετροι αποτελούν σε μια πρώτη ανάγνωση κριτήρια που περιορίζουν πολύ τις επιλογές για το σχεδιασμό, στην πραγματικότητα μπορούν να διεγείρουν το σχεδιαστή για να υιοθετηθούν διαφορετικές φιλοσοφίες σχεδιασμού.



Εικόνα 141. Guggenheim museum, New York, architect Frank Lloyd Wright- πηγή: Solomon R. Guggenheim Foundation

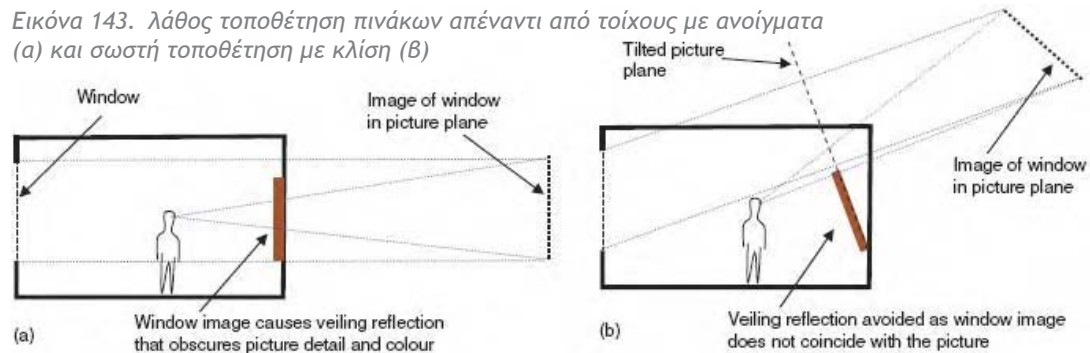


Εικόνα 142. τυπολογίες μουσείων που χρησιμοποιούν φυσικό φωτισμό - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)



Την πρώτη τυπολογία αποτελούν χώροι που φωτίζονται με πλευρικά ανοίγματα στον ένα τοίχο. Η επίδραση του φυσικού φωτός σε ένα χώρο είναι πολύ πιο αντιληπτή όταν έχουμε πλευρικά παράθυρα σε σχέση με τους φεγγίτες, αλλά είναι πιο δύσκολο να ελεγχθεί για να εξασφαλιστεί αποφυγή θάμβωσης και κακών συνθηκών προβολής των έργων. Συνήθως βαριές κουρτίνες χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν και να διαχέουν το εισερχόμενο φως που κυριαρχεί στο χώρο ή σε πολλές περιπτώσεις μετά από ανακαινίσεις τα ανοίγματα σφραγίζονται. Για την αποφυγή ανακλάσεων από τα ανοίγματα πάνω στα έργα τέχνης, εφαρμόζεται η τεχνική που περιγράφεται στην παρακάτω εικόνα, με τους πίνακες να τοποθετούνται με κλίση προς τα κάτω. Η γωνία της τοποθέτησης εξαρτάται κάθε φορά από το ύψος του πίνακα, το ύψος του θεατή καθώς και την απόστασή του από το έκθεμα. Το πρόβλημα ωστόσο παραμένει στην πλευρά όπου υπάρχουν τα ανοίγματα, καθώς λόγω μεγάλης διαφοράς λαμπρότητας δημιουργείται θάμβωση ανικανότητας στο θεατή. Τα έργα που βρίσκονται κοντά στα ανοίγματα δέχονται ως και 100 φορές περισσότερο φωτισμό απ' ό,τι αυτά που βρίσκονται μακριά. Χαρακτηριστικό είναι ότι σε αυτές τις περιπτώσεις η μεγαλύτερη φθορά παρατηρείται σε ακτίνα περίπου 1 μέτρου από τα ανοίγματα. Επίσης όταν τα έργα εκτίθενται μπροστά από κατακόρυφα ανοίγματα το μάτι μας αδυνατεί να προσαρμοστεί σε τόσο μεγάλη λαμπρότητα με αποτέλεσμα να χάνονται οι λεπτομέρειες του έργου, η υφή και το χρώμα του και να βλέπουμε μόνο τη σιλουέτα του.

Εικόνα 143. λάθος τοποθέτηση πινάκων απέναντι από τοίχους με ανοίγματα (α) και σωστή τοποθέτηση με κλίση (β)



Εικόνα 144. θάμβωση λόγω μεγάλου contrast - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

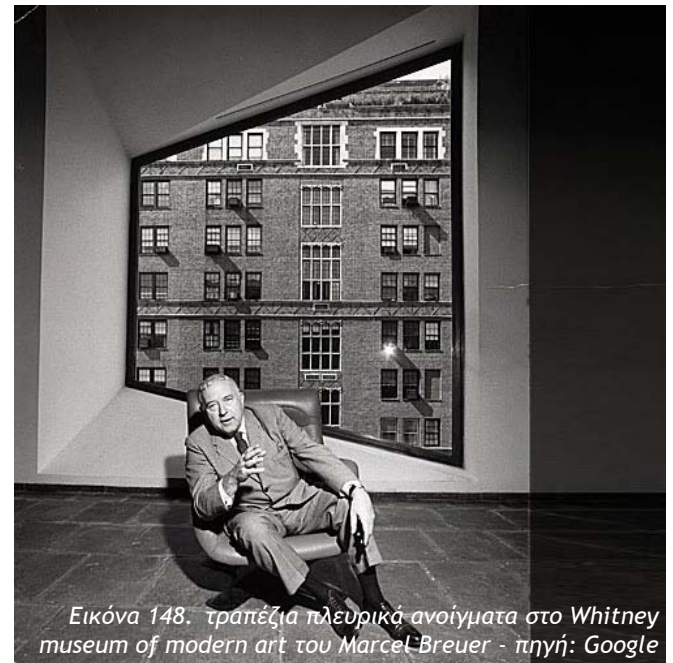
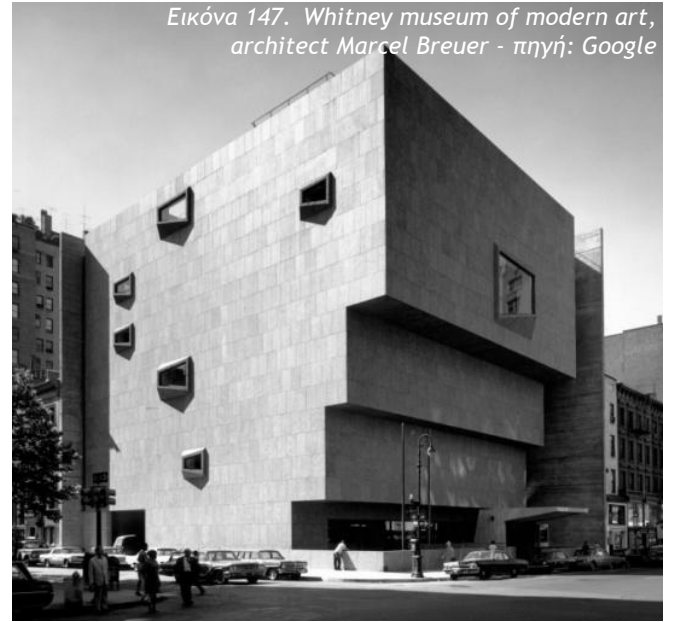


Εικόνα 145. το ίδιο έργο μπροστά από διαφορετικό υπόβαθρο - έλεγχος θάμβωσης. εθνικό μουσείο Ιράν - πηγή: Tombazis, *museum handbook* (2004)

Εικόνα 146. Το φιλί, μουσείο Rodin, Παρίσι -  
πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)



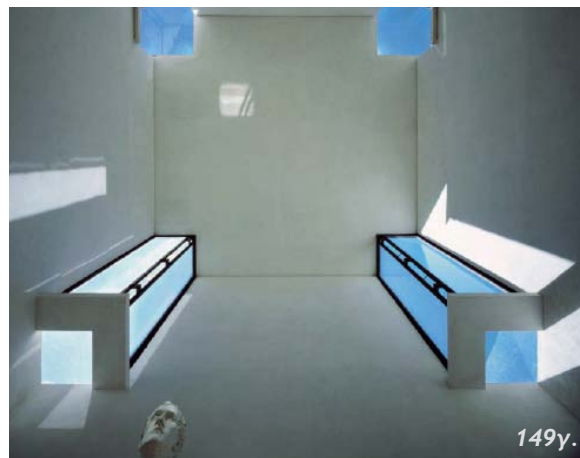
Εικόνα 147. Whitney museum of modern art,  
architect Marcel Breuer - πηγή: Google



Εικόνα 148. τραπέζια πλευρικά ανοίγματα στο Whitney  
museum of modern art του Marcel Breuer - πηγή: Google

Ωστόσο τα πλευρικά ανοίγματα μπορούν να αποτελέσουν πολύ καλή πηγή φυσικού φωτισμού όταν τα εκθέματα είναι γλυπτά. Παράδειγμα αποτελεί το μουσείο του Rodin στο Παρίσι (πρόκειται για έπαυλη που μετατράπηκε σε εκθεσιακό χώρο), όπου η ροή του φωτός και η εναλλαγή των σκιών αναδεικνύουν τις δυναμικές φόρμες του καλλιτέχνη με τρόπο που δε θα γινόταν με διάχυτο φωτισμό οροφής.

Ένα από τα λιγοστά μουσεία που σχεδιάστηκαν εξ αρχής να λειτουργούν με φυσικό φως από πλευρικά ανοίγματα αποτελεί η Gipsoteca Canoviana του Carlo Scarpa στο Possagno της Ιταλίας. Ο Scarpa υποστηρίζει ότι τα έργα πρέπει να δέχονται το φωτισμό με διαφορετικό τρόπο και ένταση και γι' αυτό ομαδοποιεί τα έργα δημιουργώντας ενότητες που μπορούν να φωτίζονται διαφορετικά. Η κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας δημιουργεί σκιές και σχήματα στα αγάλματα, προσδίδοντας μία ατελείωτη ποικιλία σχέσεων ανάμεσα στο άμεσο φως, το έμμεσο διάχυτο φως και τα εκθέματα. Τέλος χαρακτηριστικά είναι τα ανοίγματα σε τραπέζιο σχήμα στο μουσείο Whitney του αρχιτέκτονα Marcel Breuer στη Νέα Υόρκη. Μέσα από τα πλευρικά αυτά ανοίγματα παρέχεται φυσικό φως και οπτική σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ λόγω της κλίσης τους (σε κάτοψη) αποφεύγεται η θάμβωση στο χρήστη.



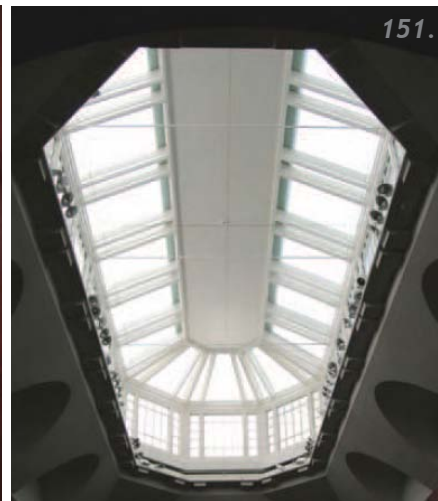
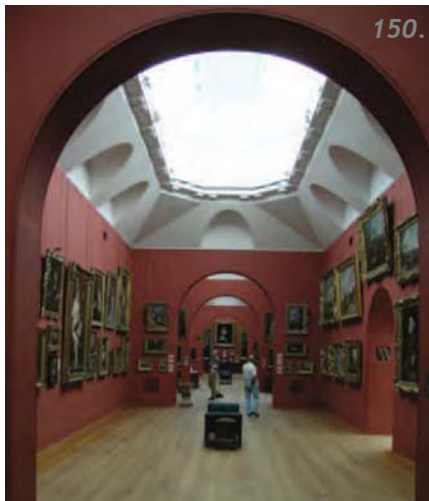
Εικόνα 149. Gipsoteca Canoviana, Possagno, Ιταλία, αρχιτ. Carlo Scarpa - πηγή: [www.cisapalladio.org](http://www.cisapalladio.org)

Μια άλλη τυπολογία αποτελούν τα μουσεία που φωτίζονται με κατακόρυφα ανοίγματα οροφής, όπου στόχος είναι να εισάγουν το φως διασταυρούμενο από ανοίγματα που βρίσκονται απέναντι μεταξύ τους, προς τους τοίχους. Προφανώς όμως αυτό πρακτικά είναι αδύνατο να συμβεί με τον ίδιο τρόπο ταυτόχρονα σε απέναντι τοίχους λόγω της κατανομής του φωτισμού στον ουράνιο θόλο. Έτσι οι πίνακες στο ύψος του ματιού τοποθετούνται κατακόρυφα, ενώ εκείνοι που βρίσκονται ψηλότερα πρέπει να έχουν κλίση προς τα κάτω για να μην παρατηρούνται ανακλάσεις πάνω τους από το άμεσο φως του ηλίου. Λέγεται ότι ο πρώτος χώρος εκθέσεων ειδικά σχεδιασμένος γι' αυτό το λόγο είναι η Dulwich art gallery που ολοκληρώθηκε περίπου το 1810, με αρχιτέκτονα τον John Soane. Πρόσφατες έρευνες μας αποκαλύπτουν ότι οι επισκέπτες παραπονούνταν για την έλλειψη επαρκούς φωτισμού μέσα στο χώρο. Μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο το μουσείο ανακατασκευάστηκε, όμως αυτή τη φορά οι φωτιστικές επιφάνειες αυξήθηκαν (όχι μόνο οι κατακόρυφες, αλλά και οι κεκλιμένες επιφάνειες καλύφθηκαν με τζάμι). Αυτό αύξησε σημαντικά τα επίπεδα φωτισμού γενικά στο χώρο, όχι όμως και στους τοίχους.

Εικόνα 150. Dulwich art gallery

Εικόνα 151. άνοιγμα οροφής, Dulwich art gallery (μετά την ανακατασκευή)  
πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)

Εικόνα 152. άποψη της Dulwich art gallery από ψηλά, απ' όπου φαίνονται τα ανοίγματα οροφής - πηγή: [www.dulwichpicturegallery.org.uk](http://www.dulwichpicturegallery.org.uk)



Όσον αφορά τα κεντρικά ανοίγματα οροφής, το σημαντικότερο ζήτημα είναι οι αναλογίες ύψους / πλάτους. Αν το κλάσμα είναι πολύ μικρό, τότε υπάρχουν ανακλάσεις από τα ανοίγματα στα ψηλότερα σημεία των έργων. Αντίθετα όταν η αναλογία είναι μεγάλη, τότε τις καλύτερα φωτιζόμενες περιοχές αποτελούν τα ψηλότερα σημεία των τοίχων και το πάτωμα, ενώ οι πιο «φτωχές» σε φωτισμό περιοχές είναι χαμηλά στους τοίχους, όπου όμως τοποθετούνται τα έργα. Η πινακοθήκη του Leo von Klenze στο Μόναχο (εικόνα 153) έχει τις ρίζες της στην πινακοθήκη του Soane, όπου όμως διαφορετικές απαιτήσεις στα μεγέθη των έργων εγείρανε το θέμα της κλίμακας και των αναλογιών εκ νέου στο σχεδιασμό. Με τον καμπύλο θόλο κάτω από το κεντρικό άνοιγμα στην οροφή παρέχει ομοιομορφία λόγω ανακλάσεων από το σημείο D στο σημείο F (εικόνα 154) με αποτέλεσμα να δημιουργεί έναν ευρύχωρο χώρο με πολύ καλό φωτισμό και χωρίς θάμβωση από ανακλάσεις. Στην πορεία το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε πολλές φορές με διάφορες παραλλαγές (Staatgalerie, Getty center), ενώ σήμερα συνδυάζεται με τεχνητό φωτισμό για να ενισχυθούν τα επίπεδα φωτισμού τις συννεφιασμένες μέρες ή για να δοθεί έμφαση σε συγκεκριμένα έργα.

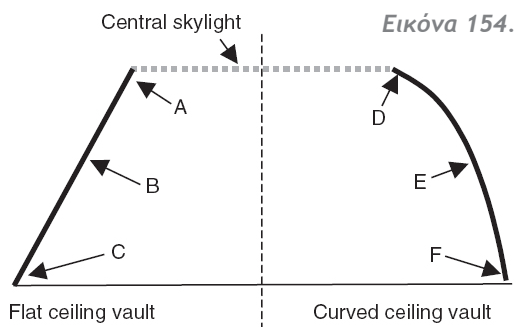


Εικόνα 153.

Εικόνα 153. η πινακοθήκη του Leo Von Klenze στο Μόναχο - πηγή: Cuttle, Light for art's sake, 2007

Εικόνα 154. διάγραμμα που δείχνει την κατανομή του φωτισμού στο θόλο του Leo Von Klenze - πηγή: Cuttle, Light for art's sake, 2007

Εικόνα 155. Getty center, archit. Richard Meier, California - πηγή: www.richardmeier.com

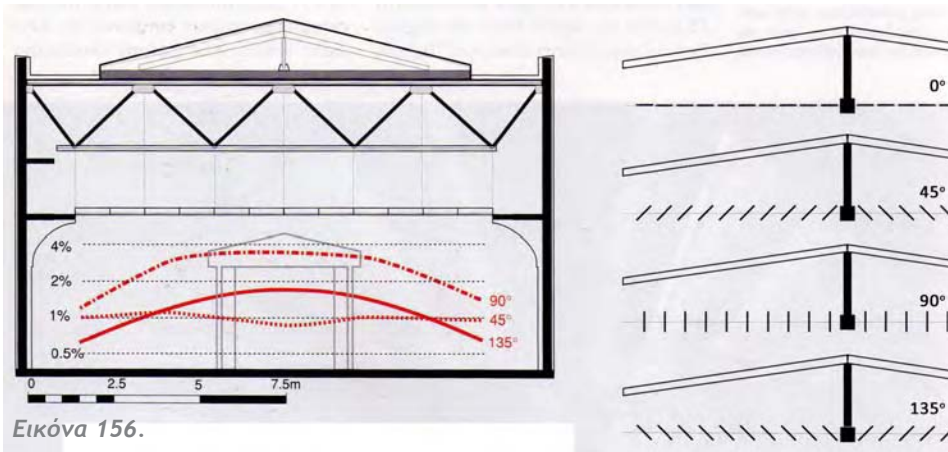


Εικόνα 154.



Εικόνα 155.

Στη Neue Staatsgalerie (1984) του αρχιτέκτονα James Stirling το μοντέλο του Leo Von Klenze συνδυάστηκε με ένα σύστημα φωτεινής οροφής που μπορεί να ανταπεξέλθει σε όλες τις κλιματικές συνθήκες και σε όλες τις απαιτήσεις για προστασία των εκθεμάτων. Από το εσωτερικό των χώρων ο επισκέπτης βλέπει τη φωτεινή οροφή που καλύπτεται με ημιδιάφανο τριπλό τζάμι, το οποίο προσφέρει θερμική μόνωση και αποκόπτει την υπεριώδη ακτινοβολία. Πάνω από το τζάμι βρίσκονται τα φωτιστικά φθορισμού τοποθετημένα παράλληλα με την πορεία του φυσικού φωτός ώστε να προσφέρουν την ίδια εντύπωση με αυτό και να λειτουργούν συμπληρωματικά. Πιο πάνω βρίσκεται ένα σύστημα ελέγχου του φυσικού φωτός που αποτελείται από περσίδες προσαντολισμένες στον άξονα Βορρά - νότου οι οποίες μπορούν να περιστρέφονται ηλεκτροκίνητα με χρήση αισθητήρων φωτισμού μέχρι και 135°. Τέλος στο ανώτερο σημείο βρίσκεται το εξωτερικό τζάμι, που προστατεύει τα κατώτερα στρώματα από τις καιρικές συνθήκες.



Εικόνα 156. διάγραμμα που δείχνει την κατανομή του π.φ.φ. για διαφορετική κλίση των περσίδων - πηγή: Fontoyont, *Daylight performance of buildings*, 1999

Εικόνα 157. Staatsgalerie, δομή του συστήματος φωτισμού: κάτω από τα ανοίγματα με διπλά τζάμια και φίλτρα για την απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας, υπάρχει αυτόματο σύστημα με περσίδες στον άξονα Βορρά-νότου που κατευθύνουν το φως και πιο κάτω υπάρχει η τελική φωτεινή οροφή που είναι ορατή από το εσωτερικό της αίθουσας και διαχέει το φως - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake*, 2007

Εικόνα 158. Staatsgalerie, Stuttgart, αρχιτ. Stirling - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake*, 2007



Η επιθυμία για φυσικό φωτισμό απαλλαγμένο όμως από το άμεσο φως που προκαλεί θάμβωση και ανακλάσεις στα έργα τέχνης οδήγησε στη δημιουργία χώρων φωτισμένων αποκλειστικά με ανοίγματα οροφής που διαχέουν το φυσικό φως. Το εθνικό ιστορικό μουσείο της Οξφόρδης στεγάζεται σε ένα κτίριο βικτοριανής γοθτικής - εκκλησιαστικής αρχιτεκτονικής, κατασκευασμένο με ατσάλι και γυαλί κατά τα πρότυπα του αιώνα της βιομηχανικής επανάστασης. Λόγω της φύσης των εκθεμάτων (απολιθωμένοι σκελετοί προϊστορικών ζώων) είναι δυνατή η έκθεσή τους σε αυτό τον χώρο. Είναι προφανές πως αν τα εκθέματα παρουσίαζαν την παραμικρή ευαισθησία θα ήταν αδύνατη η έκθεσή τους σε ένα χώρο φωτισμένο με αυτό τον τρόπο. Ένα άλλο παράδειγμα τέτοιας έκθεσης φιλοξενείται στο Λούβρο, στον κήπο με τα γλυπτά. Πρέπει να επισημανθεί ότι σε χώρους που βασίζονται σε διάχυτο φωτισμό μεγάλη σημασία για την ανάδειξη των έργων παίζουν οι ανακλαστικότητες των γύρω επιφανειών καθώς και του δαπέδου. Καθώς η κύρια διεύθυνση του φωτός είναι σχεδόν κατακόρυφα προς τα κάτω, οι σκιές που μπορούν να δημιουργηθούν στα γλυπτά εξαρτώνται από το ποσό του φωτός που ανακλάται από το δάπεδο προς τα πάνω.



Εικόνα 159. κήπος με γλυπτά, μουσείο Λούβρου, Παρίσι - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)



Εικόνα 160. Εθνικό ιστορικό μουσείο Οξφόρδης - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)



Εικόνα 161. Βρετανικό μουσείο, Λονδίνο -  
πηγή: google images



Εικόνα 162. Μουσείο Σύγχρονης τέχνης, Νέα Υόρκη -  
πηγή: google images





Εικόνα 163. Beyeler Foundation museum, Ελβετία, αρχιτ. Renzo Piano - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)



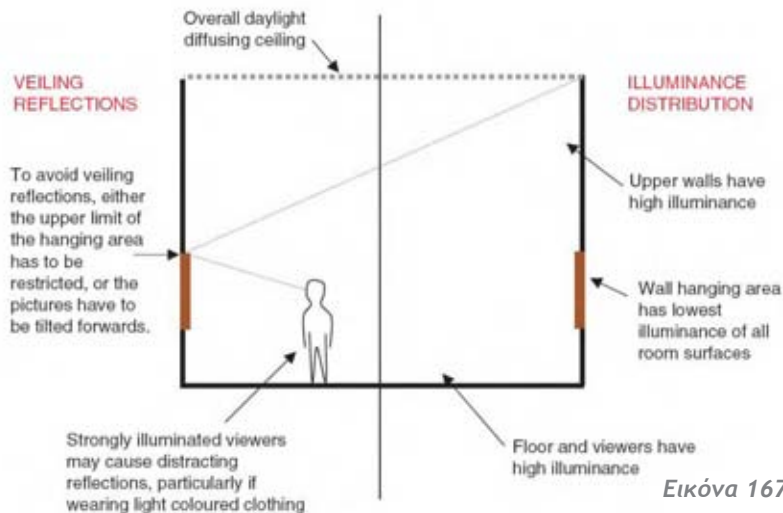
Εικόνα 164. περσίδες που ελέγχουν και κατευθύνουν το φυσικό φως, Beyeler Foundation museum, Ελβετία, πηγή: Ergo



Εικόνα 165. συνδυασμός φυσικού και τεχνητού φωτισμού, Beyeler Foundation museum, Ελβετία, πηγή: Ergo



Εικόνα 166. μουσείο Lentos, Linz, αρχιτ. Weber & Hofer, πηγή: www.beyler.com



Εικόνα 167.

Η χρήση στιλπνών επιφανειών σε συνδυασμό με τραχιές επιφάνειες και φωτισμό με spot μπορεί να αναδείξει τη φόρμα και την υφή των γλυπτών έργων. Αυτή η γενική αίσθηση του φωτισμού που επιτυγχάνεται γοητεύει τους σχεδιαστές ακόμα και σήμερα, όμως φέρνει παράλληλα στο φως και διάφορα προβλήματα στα οποία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό. Παράδειγμα αποτελεί το μουσείο Lentos όπου τα μέσα επίπεδα φωτισμού κυμαίνονται στα 900 lux, ενώ σε ηλιόλουστη μέρα μπορούν να φτάσουν τα 8.000 lux με τον έλεγχο με περσίδες. Τα παραπάνω μπορεί να μην αποτελούν πρόβλημα από άποψη συντήρησης και προστασίας των εκθεμάτων όταν πρόκειται για έργα που δεν επηρεάζονται από τη φωτοχημική αντίδραση. Ωστόσο αν πρόκειται να φωτιστούν πίνακες ή άλλης μορφής έργα δύο διαστάσεων, τα προβλήματα της χρήσης διάχυτου φωτισμού μπορεί να αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα για την υιοθέτηση αυτού του είδους φωτισμού. Οι πίνακες πρέπει να τοποθετούνται στο χαμηλότερο τμήμα των τοίχων που αποτελεί τη λιγότερο φωτισμένη ζώνη του χώρου, προκειμένου να αποφεύγονται ανακλάσεις από τα ανοίγματα. Επίσης τα επίπεδα φωτισμού πρέπει να είναι αρκετά υψηλά για να είναι οπτικά ανεκτά στο θεατή, όμως αυτό σημαίνει ότι ο φωτισμός στα έργα θα είναι πολύ μεγαλύτερος από τα προτεινόμενα επίπεδα, ανάλογα κάθε φορά με τη φύση του εκθέματος. Μειώνοντας τα γενικά επίπεδα φωτισμού ώστε να ανταποκρίνονται στα προτεινόμενα από άποψη προστασίας επίπεδα, το αποτέλεσμα θα είναι ο χώρος να είναι σκοτεινός και άτονος χωρίς να δίνει την αίσθηση ότι φωτίζεται με φυσικό φως. Ενδεικτικά στο μουσείο Lentos με επίπεδα φωτισμού κάτω από τα 300 lux ο χώρος είναι μη αποδεκτά σκοτεινός.



Εικόνα 168.

Εικόνα 167. (αριστερή σελίδα) το πρόβλημα των ανακλάσεων και της φωτεινής κατανομής με ανοίγματα οροφής, πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

Εικόνα 168. (πάνω) όψη του μουσείου του Ando - πηγή: Derek, *Lighting modern buildings* (2000)

Το μουσείο του Tadao Ando στην Ιαπωνία φωτίζεται αποκλειστικά με φυσικό φως και κλείνει με τη δύση του ηλίου, ως αναφορά στα έργα ενός καλλιτέχνη (του οποίου τα έργα εκτίθενται στο μουσείο), ο οποίος κατά τη διάρκεια του β' παγκοσμίου πολέμου ζωγράφιζε μόνο σε συνθήκες φυσικού φωτισμού και ιδιαίτερα το βράδυ. Η κάτοψη του μουσείου «αγκαλιάζει» με τις καμπύλες χαράξεις τη γειτονική λίμνη. Η όψη του μουσείου προς τη λίμνη αποτελείται από ημιδιαφανή υαλοπετάσματα που διαχέουν το φως προς τον εσωτερικό διάδρομο. Πίσω από το διάδρομο βρίσκεται ο κύριος χώρος της έκθεσης ο οποίος φωτίζεται από ένα περιμετρικό άνοιγμα οροφής που ακολουθεί την καμπύλη της όψης. Η ποσότητα και η ποιότητα του φωτισμού μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας και καθ' όλου του έτους, με αποτέλεσμα οι επισκέπτες να έχουν διαφορετική εμπειρία από το χώρο ανάλογα με την εποχή που επισκέπτονται το μουσείο.



Εικόνα 169.



Εικόνα 170.

Εικόνα 169. (αριστερά)

Εικόνα 170. εσωτερικές απόψεις της έκθεσης σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές, όπου φαίνεται η διαφορά στο φωτισμό - πηγή: Derek, *Lighting modern buildings* (2000)

Η λύση γι' αυτά τα προβλήματα είναι ο περιορισμός του φωτός που εισέρχεται στο κτίριο και η σωστή του κατεύθυνση προς τα έργα και επιλεγμένα σημεία στο χώρο, ώστε τα αντικείμενα να εκτίθενται σε όσο γίνεται χαμηλότερα επίπεδα φωτισμού ανάλογα με την ευαισθησία τους, διατηρώντας όμως το γενικό φωτισμό σε ανεκτά επίπεδα, τόσο από άποψη προσαρμογής του ματιού όσο και απόδοσης των χρωμάτων. Μία τεχνική που εφαρμόζεται συχνά είναι η φωτεινή οροφή να περιορίζεται μόνο στην περίμετρο των χώρων, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το φωτισμό στο πάτωμα και κατευθύνοντας το περισσότερο φως προς τους τοίχους. Πολλές φορές το σύστημα αυτό συνδυάζεται με περσίδες που κατευθύνουν και κατανέμουν το φως καλύτερα στους τοίχους και στα εκθέματα, αλλά και με πηγές τεχνητού φωτισμού τοπικά στα έργα. Τα έργα που κρέμονται στους τοίχους πάνω από το ύψος του ανθρώπου παρατηρούμε ότι έχουν ελαφριά κλίση προς τα κάτω για να αποφεύγονται οι ανακλάσεις και η θάμβωση.



Εικόνα 171.



Εικόνα 172.

Εικόνα 171. περιμετρικό άνοιγμα οροφής, National gallery, London - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

Εικόνα 172. φωτισμός τοπικά με άνοιγμα οροφής, Getty center, California, αρχιτ. Richard Meier - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

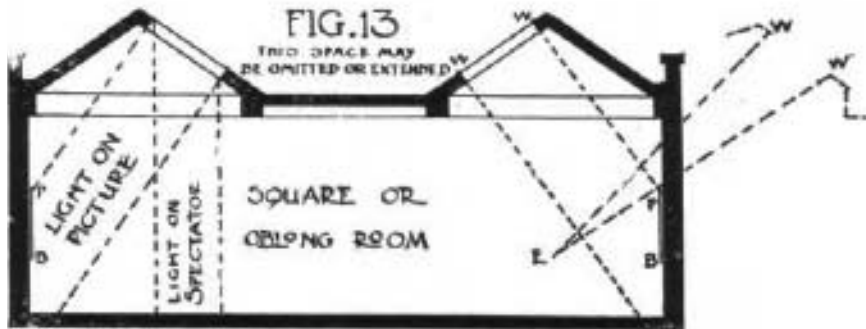
Εικόνα 173. περσίδες που ελέγχουν το φωτισμό, πάνω από το κεντρικό άνοιγμα της οροφής, National gallery, London - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)



Εικόνα 173.

Μια άλλη παρεμφερής επιλογή φωτισμού είναι ο φωτισμός ολόκληρου του τοίχου όπου εκτίθενται τα έργα, στην περίπτωση που αυτά είναι πίνακες ζωγραφικής. Κεκλιμένα ανοίγματα οροφής κατευθύνουν κατευθείαν τη μέγιστη ποσότητα του φωτός προς τη χαμηλότερη περιοχή του τοίχου όπου εκτίθενται τα έργα. Στον υπόλοιπο χώρο ο διάχυτος φωτισμός είναι σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα τα έργα να αναδεικνύονται μέσα από το φωτεινό τους υπόβαθρο. Προβλήματα θάμβωσης από τα ανοίγματα είναι σπάνιο να εμφανιστούν, αφού τα ανοίγματα βρίσκονται πάνω και πίσω από το θεατή.

Ωστόσο παρά την φαινομενική ομοιότητα, δε θα πρέπει αυτός ο τύπος φωτισμού να συγκρίνεται με τον περιμετρικό φωτισμό οροφής που είδαμε προηγουμένως, όπου τα εκθέματα τοποθετούνται στη λιγότερο φωτισμένη ζώνη (τα πιο φωτεινά σημεία του χώρου είναι η ανώτερη ζώνη του τοίχου και το πάτωμα κάτω ακριβώς από τα περιμετρικά ανοίγματα).



Εικόνα 174. σχεδιαγραμματική τομή λειτουργίας φωτισμού τοίχου με πλευρικά κεκλιμένα ανοίγματα - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)



εικόνα 175.

Στο μουσείο τέχνης Nordjyllands ο Alvar Aalto σχεδίασε ένα σύστημα που κατευθύνει το φυσικό φως προς τους περιμετρικούς τοίχους και αποτελείται από ένα αναρτώμενο σύστημα που ανακλά το φως μέσω τεσσάρων καμπύλων ανακλαστήρων. Οι ανακλαστήρες δέχονται το άμεσο φως από τη φωτεινή οροφή και το διαχέουν προς τους τοίχους ενώ παράλληλα αποκόπτουν τη θάμβωση από ανάκλαση στις θέσεις παρατήρησης των έργων.

Εικόνα 175. περιμετρικός φωτισμός οροφής. Δημιουργούνται σκιές στις προτομές από πάνω προς τα κάτω καθώς και στον πίσω τοίχο, το κάτω μέρος του οποίου είναι σκοτεινό. *Musee de Moyen Age, Παρίσι* - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

Εικόνα 176. λεπτομέρεια του συστήματος φωτισμού του Alvar Aalto, *Nordjyllands Kunstmuseum* - πηγή: google images

Εικόνα 177. *Nordjyllands Kunstmuseum*, αρχιτ. Alvar Aalto, Δανία - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)



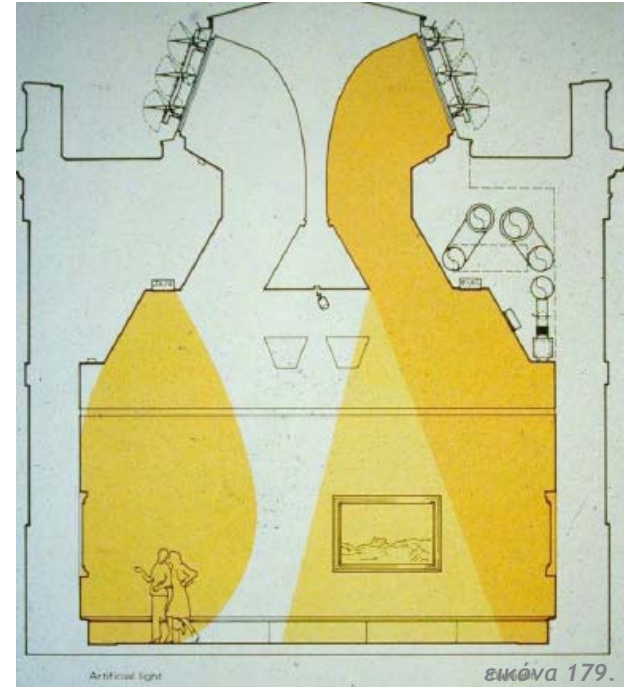
εικόνα 176.



εικόνα 177.



εικόνα 178.



εικόνα 179.



εικόνα 180.

Εικόνα 178. σύστημα φυσικού φωτισμού σε αίθουσα με πίνακες λαδιού στην Tate gallery, Λονδίνο. Το φως κατευθύνεται πάνω στα έργα ώστε να ελαχιστοποιούνται τα επίπεδα φωτισμού - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

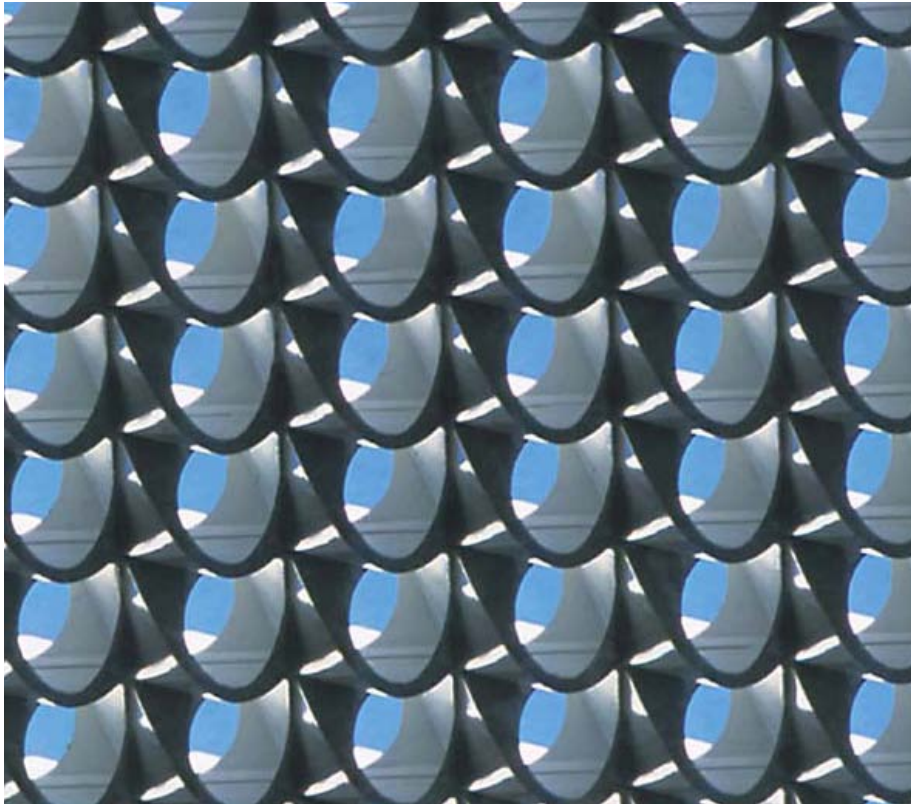
Εικόνα 179. σχεδιαγραμματική λειτουργία του συστήματος φωτισμού στην Tate gallery - πηγή: Tombazis, *museums handbook* (2004)

Εικόνα 180. Tate gallery, σύστημα που κατευθύνει το φως στους 4 περιμετρικούς τοίχους κάτω από κεντρικό άνοιγμα οροφής - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

Εικόνα 181. Nasher sculpture center, Dallas, αρχιτ. Renzo Piano. Κάτω από την οροφή με τα μοναδικά για την συγκεκριμένη τοποθεσία ανοίγματα τα οποία επαναλαμβάνονται πάνω από 500.000 φορές, υπάρχει τζάμι μεγάλης περατότητας στο ορατό φως. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει μέγιστη έκθεση στο δάχυτο βορινό φυσικό φως, ενώ πάντα αποκλείεται η άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Τα αγάλματα φωτίζονται με άπλετο φυσικό φως χωρίς να δημιουργούνται σκληρές σκιές.- πηγή: <http://rpbw.r.ui-pro.com>



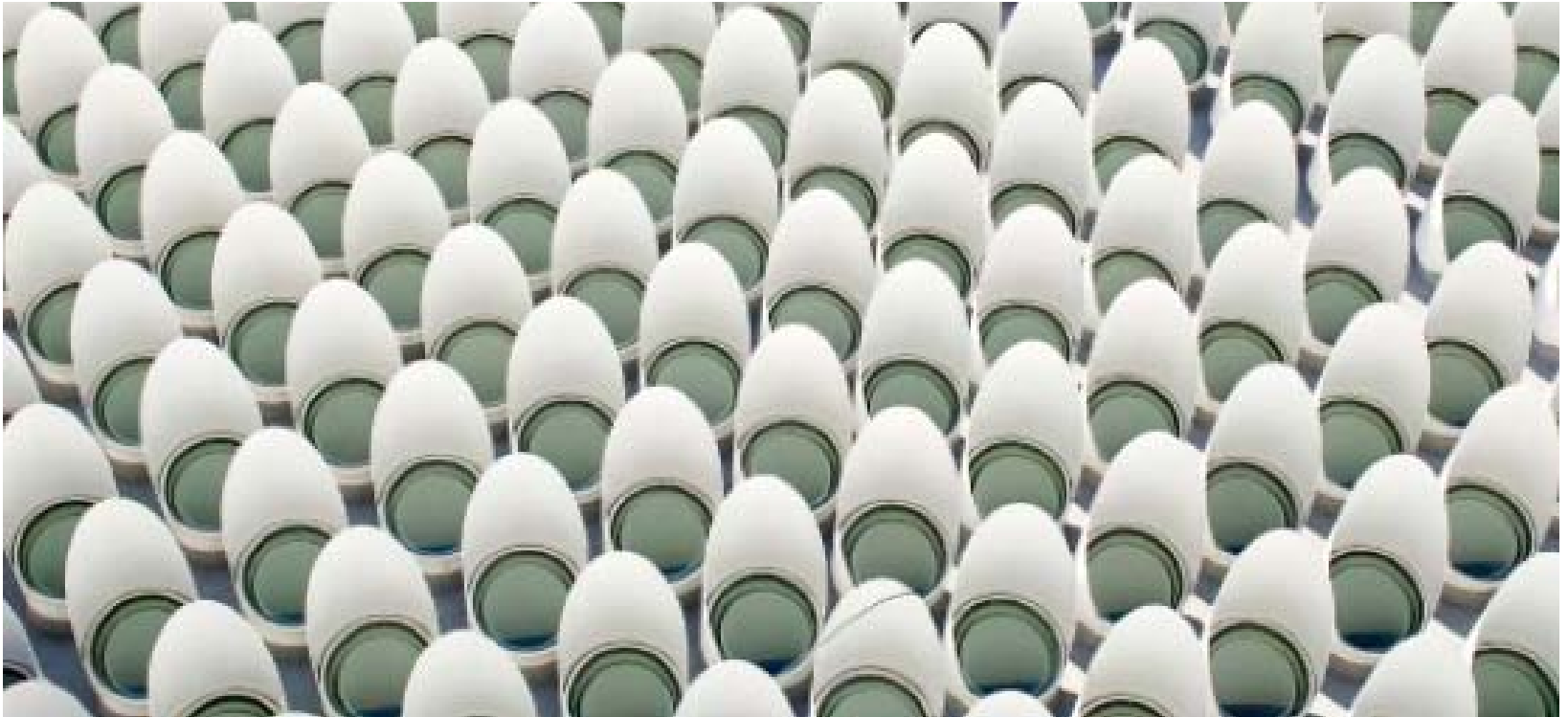
Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελούν το Nasher sculpture center του Renzo Piano και η επέκταση στο high art museum of Atlanta (του Richard Meier) επίσης από τον Renzo Piano, μουσεία τα οποία έχουν εξολοκλήρου φωτεινή οροφή με ενσωματωμένα με συστήματα ελέγχου του φωτός. Και στις δύο περιπτώσεις το φωτισμό και σχεδιασμό της οροφής - πρωτότυπης και στις δύο εφαρμογές - έχει αναλάβει το γραφείο Arup. Τα ανοίγματα είναι προσανατολισμένα στο Βορρά για να αποκλείεται η εισαγωγή άμεσου φωτός και να δέχονται το έμμεσο φως του ουράνιου θόλου καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και χωρίς να παρουσιάζονται μεγάλες αλλαγές. Όλα τα ανοίγματα έχουν σχεδιαστεί ένα προς ένα με τη χρήση η/υ λαμβάνοντας υπ' όψιν τη συγκεκριμένη θέση στην οροφή του κτιρίου. Το αποτέλεσμα είναι ο χώρος να φωτίζεται ομοιόμορφα με υψηλά επίπεδα φυσικού φωτισμού, ελαχιστοποιώντας τις απαιτήσεις για τεχνητό φωτισμό.



Εικόνα 182. λεπτομέρεια της οροφής από το εσωτερικό στο Nasher sculpture center, σχεδιασμός Arup - πηγή: [www.arup.com/lighting](http://www.arup.com/lighting)



Εικόνα 183. λεπτομέρεια των ανοιγμάτων οροφής, Nasher sculpture center - πηγή: <http://rpbw.r.ui-pro.com>



Εικόνα 184. (πάνω) τα ανοίγματα οροφής στο High museum of art, αρχιτ. Renzo Piano, Atlanta - άποψη από ψηλά

Εικόνα 185. (κάτω αριστερά) εξωτερική άποψη του high museum of art όπου είναι εμφανής η δομή του συστήματος φωτισμού

Εικόνα 186. (κάτω δεξιά) εξωτερική λεπτομέρεια της οροφής στο nasher sculpture center, σχεδιασμός Arup - πηγή εικόνων: <http://rpbw.r.ui-pro.com>







Εικόνα 187. (αριστερά) άνοψη τμήματος της οροφής από το εσωτερικό της αίθουσας - λεπτομέρεια

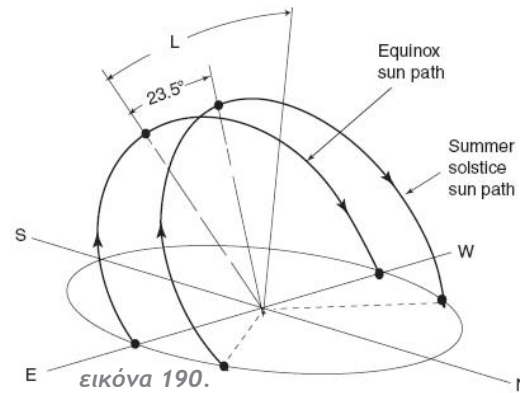
Εικόνα 188. (κάτω) εσωτερική άποψη αίθουσας εκθέσεων στο High museum of art, αρχιτ. Renzo Piano, Atlanta - πηγή εικόνων: <http://rpbw.r.ui-pro.com>



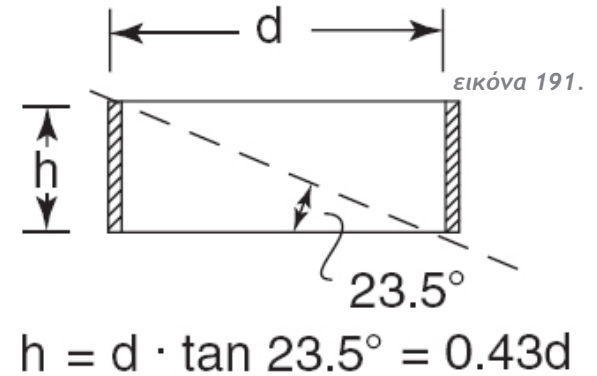
Στην τελευταία κατηγορία συναντάμε τα πολικά ανοίγματα οροφής, που συλλέγουν το άμεσο φως του ηλίου και το διάχυτο φως του ουράνιου θόλου και το διαχέουν μέσω ημιδιαφανών υλικών. Την πιο απλή μορφή ενός τέτοιου συστήματος συναντάμε στα βιομηχανικά κτίρια με τη γνωστή πριονωτή στέγη, όπου τα ανοίγματα είναι προσανατολισμένα προς το Βορρά για να εκμεταλλεύονται το διάχυτο φως του ουρανού που δεν παρουσιάζει πολλές εναλλαγές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στη σημερινή πιο εξελιγμένη τους μορφή μπορούν να συνδυάζουν κάποιο σύστημα σκίασης που να αποκόπτει το άμεσο φως του ηλίου καθώς και την υπερθέρμανση. Επίσης είναι σημαντικό οι εσωτερικές επιφάνειες της οροφής να είναι υψηλά ανακλαστικές και ανοιχτόχρωμες ώστε να μη δημιουργούνται έντονες αντιθέσεις και εναλλαγές φωτός. Για το σωστό σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος χρειάζεται το γεωγραφικό πλάτος και η γωνία του ήλιου κατά το θερινό ηλιοστάσιο.



εικόνα 189.



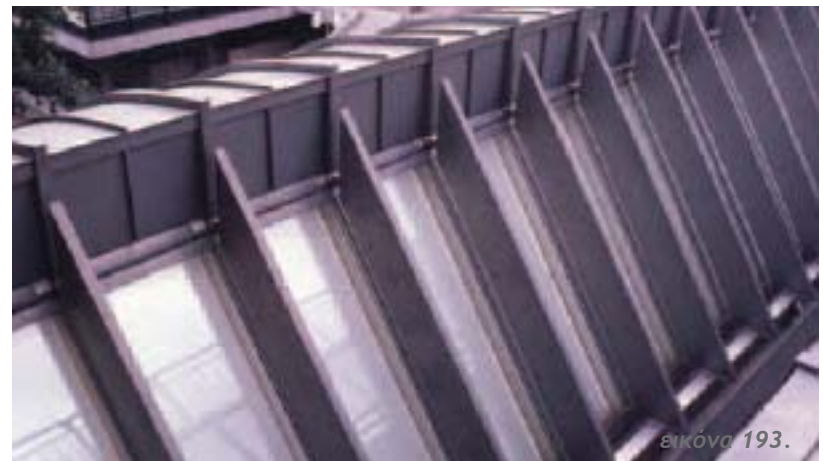
Εικόνα 189. άνοιγμα οροφής στο High museum of Atlanta - πηγή: Arup lighting  
 Εικόνα 190. κίνηση του ηλίου κατά την ισημερία και τα ηλιοστάσια - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)  
 Εικόνα 191. υπολογισμός μεγέθους συστήματος για να υπάρχει αποκοπή του ήλιου - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)



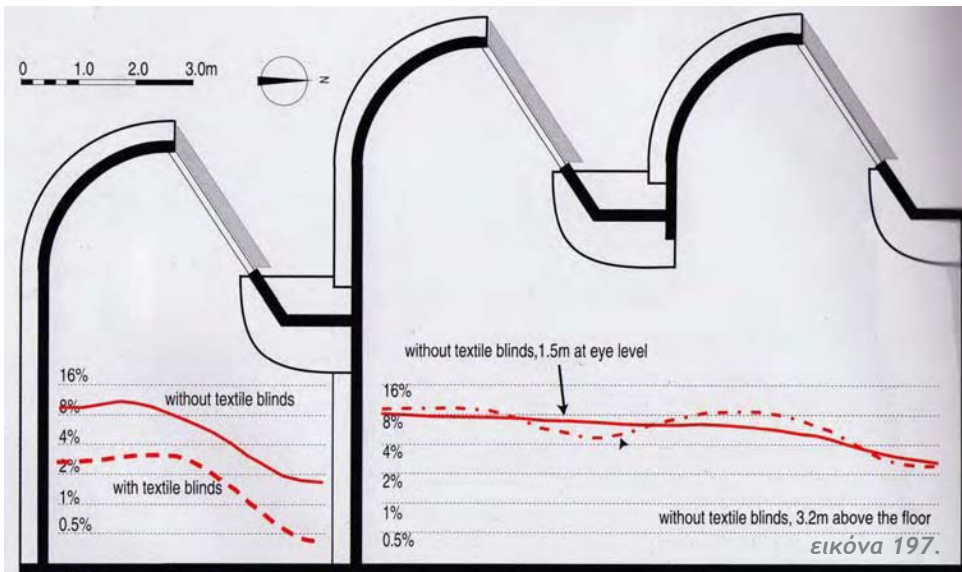
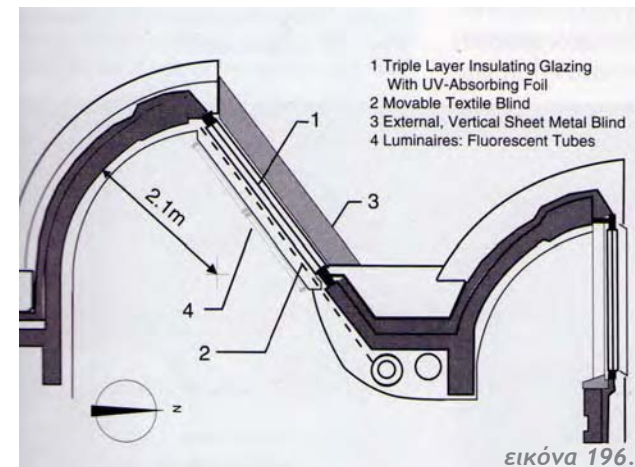
Εικόνα 192. μουσείο Kroller - Muller, αρχιτ. Van de Velde, Ολλανδία - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)  
 Εικόνα 193. ανοίγματα οροφής με σκιάδια, μουσείο Kroller - Muller - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)



εικόνα 192.



εικόνα 193.

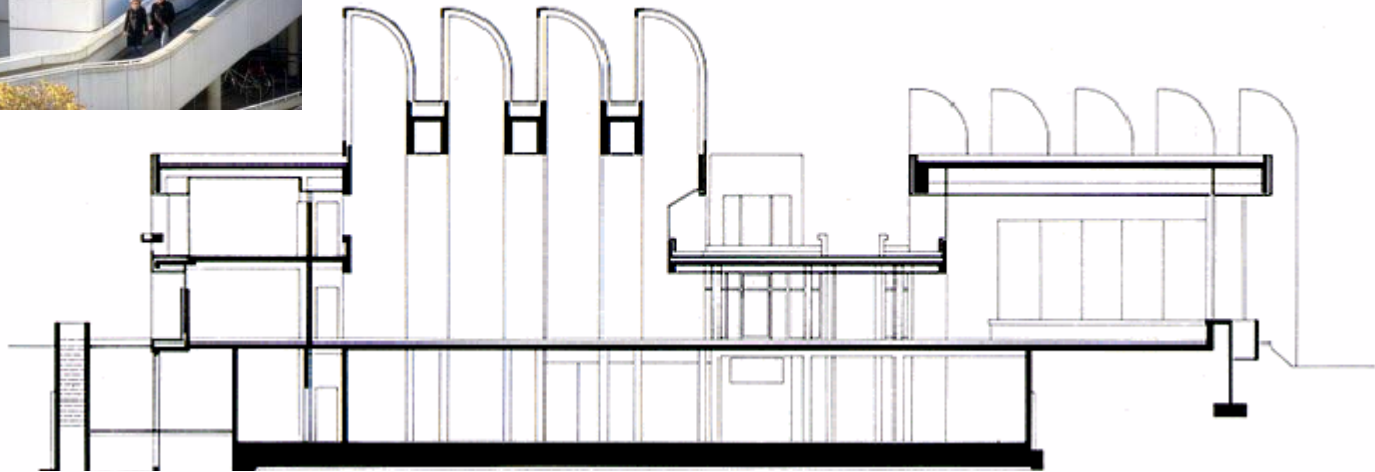


Εικόνα 194. εξωτερική άποψη του Wallraf-Rickartz Museum, Koln - πηγή: Google images  
 Εικόνα 195. εσωτερικό αίθουσας στο Wallraf-Rickartz Museum, Koln - πηγή: Google images  
 Εικόνα 196. λεπτομέρεια του ανοίγματος οροφής - πηγή: Fontoyonont, Daylight performance of buildings (1999)  
 Εικόνα 197. κατανομή του π.φ.φ. στην αίθουσα, με και χωρίς σκιάδια - πηγή: Fontoyonont, Daylight performance of buildings (1999)



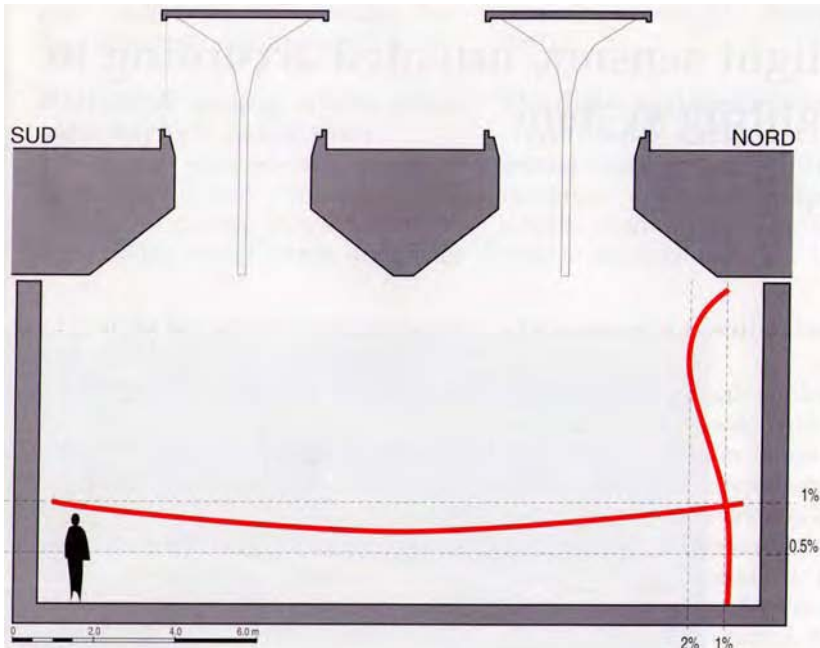
Εικόνα 198. Bauhaus archin, Berlin - πηγή: Google images

Εικόνα 199. τομή του κτιρίου του Bauhaus archin όπου φαίνονται τα ανοίγματα οροφής - πηγή: Bauhaus archin

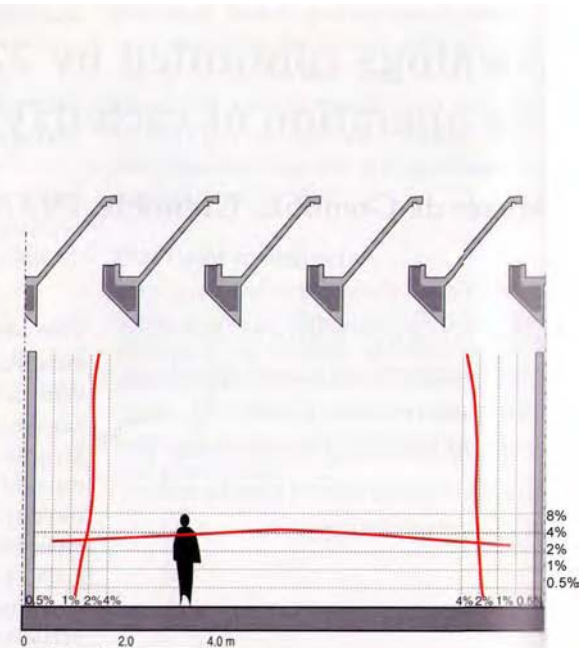


Στο Wallraf-Rickartz Museum, στην Κολωνία, τα ανοίγματα είναι προσανατολισμένα στο Βορρά και για να αποκλειστεί η εισαγωγή φυσικού φωτός στο κτίριο έχουν τοποθετηθεί εξωτερικά μεταλλικές περσίδες κάθετα στα ανοίγματα. Τριπλά τζάμια εμποδίζουν την υπεριώδη ακτινοβολία να εισέλθει στο εσωτερικό, ενώ τα επίπεδα φωτισμού ελέγχονται εσωτερικά με τη χρήση υφασμάτων σκιάστρων. Ο τεχνητός φωτισμός που γίνεται με κυλινδρικούς λαμπτήρες φθορισμού ενσωματώνεται αρχιτεκτονικά κάτω από τα πλαίσια των κεκλιμένων ανοιγμάτων, με αποτέλεσμα ο χώρος να φωτίζεται ομοιόμορφα την ημέρα και τη νύχτα, αφού η κατεύθυνση είναι σταθερή. Η λειτουργία του συστήματος φωτισμού γίνεται εύκολα αντιληπτή στον επισκέπτη από το εξωτερικό του κτιρίου, όπου η μορφή των ανοιγμάτων έχει διατηρηθεί εμφανής δημιουργώντας ένα ιδιαίτερο περίγραμμα στο κτίριο. Παρόμοιο σύστημα είχε εφαρμοστεί και στο κτίριο των αρχείων του Bauhaus στο Βερολίνο που κτίστηκε το 1979 σε σχέδια του Walter Gropius. Εδώ όμως τα ανοίγματα είναι κατακόρυφα και όχι κεκλιμένα, με αποτέλεσμα να δέχονται μικρότερη ποσότητα φυσικού φωτός.

Στο μουσείο της Grenoble στην ομώνυμη πόλη της Γαλλίας χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές τεχνικές προκειμένου να αποκοπεί το άμεσο φως του ήλιου και ρυθμιστεί ο φωτισμός σε συνάρτηση με τα κλιματικά δεδομένα και αλλαγές. Εκτός από τα αγάλματα που φωτίζονται από μεγάλα ανοίγματα στις όψεις του και από τα υψηλά ευαίσθητα αντικείμενα που βρίσκονται σε αίθουσες όπου αποκλείεται η παρουσία φυσικού φωτός, όλες οι άλλες αίθουσες φωτίζονται από γραμμικά ανοίγματα οροφής προσανατολισμένα προς Βορρά και Νότο. Οι δύο τυπολογίες που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται σχηματικά παρακάτω. Το σημαντικό είναι ότι τα στοιχεία που βρίσκονται κάτω από τα ανοίγματα έχουν σχεδιαστεί ώστε να διαχέουν το φυσικό φως ομοιόμορφα στους τοίχους όπου εκτίθενται τα έργα τέχνης. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία αποκόπτεται και το διάχυτο φως κατευθύνεται με κινητά σκίαστρα που ελέγχονται από εξωτερικούς αισθητήρες.



Εικόνα 200. κατανομή π.φ.φ. σε αίθουσα με πίνακες του 18<sup>ου</sup> αιώνα -  
πηγή: Fontoyront, *Daylight performance of buildings* (1999)



Εικόνα 201. κατανομή π.φ.φ. σε αίθουσα με έργα του 20<sup>ου</sup> αιώνα -  
πηγή: Fontoyront, *Daylight performance of buildings* (1999)



Εικόνα 202. εσωτερικό αίθουσας με έργα του 18<sup>ου</sup> αιώνα -  
πηγή: Fontoyront, *Daylight performance of buildings* (1999)



Εικόνα 203. εξωτερική άποψη του μουσείου της Grenoble, Γαλλία -  
πηγή: Fontoyront, *Daylight performance of buildings* (1999)

Ο Renzo Piano είναι διάσημος για τα μουσεία του. Η χρήση της πιο εξελιγμένης τεχνολογίας και η άριστη γνώση των υλικών και των ιδιοτήτων τους αποτελούν χαρακτηριστικό του γνώρισμα και αφετηρία για το σχεδιασμό των έργων του, με στόχο πάντα την επίτευξη υψηλά ποιοτικών χώρων όπου πρωταρχικό μέλημα αποτελούν οι συνθήκες άνεσης και οι ανάγκες των χρηστών. Το έργο που καθιέρωσε τον Renzo Piano ως αρχιτέκτονα μουσείων, είναι το μουσείο για τη συλλογή Menil στο Houston, για το οποίο έγινε εξονυχιστική ανάλυση του φυσικού φωτισμού προκειμένου να δημιουργηθεί ένας χώρος λουσμένος με φυσικό φως μεριμνώντας παράλληλα για την προστασία των έργων τέχνης. Έτσι σχεδίασε ένα σύστημα για την οροφή που αποτελείται από κυματιστά φύλλα - περιόδες, τα οποία ελέγχουν τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο και διευκολύνουν τον αερισμό. Η δομή αυτή επεκτείνεται και στην εξωτερική όψη του κτιρίου ενοποιώντας το μέσα με το έξω και εναρμονίζοντας το κτίριο με το περιβάλλον του.

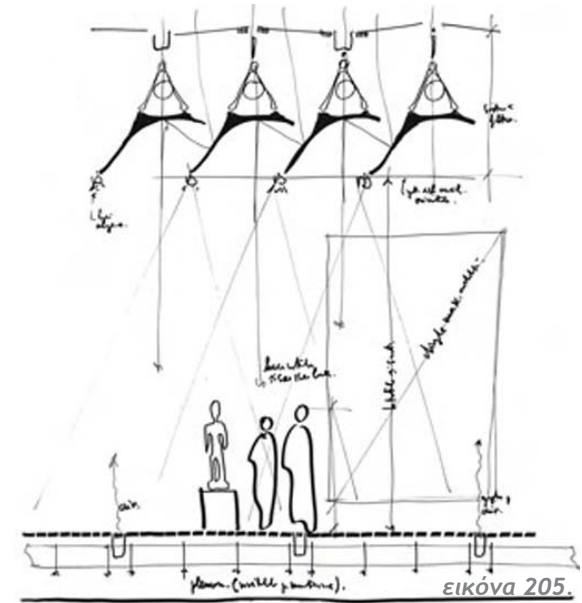
Εικόνα 204. άποψη του χώρου έκθεσης στο μουσείο της συλλογής Menil

Εικόνα 205. η δομή των φύλλων γίνεται εμφανής και στην όψη του μουσείου

Εικόνα 206. σκίτσο για την τομή του εκθεσιακού χώρου κάτω από το σύστημα με τα «φύλλα» -  
πηγή εικόνων: <http://rpbw.r.ui-pro.com/>



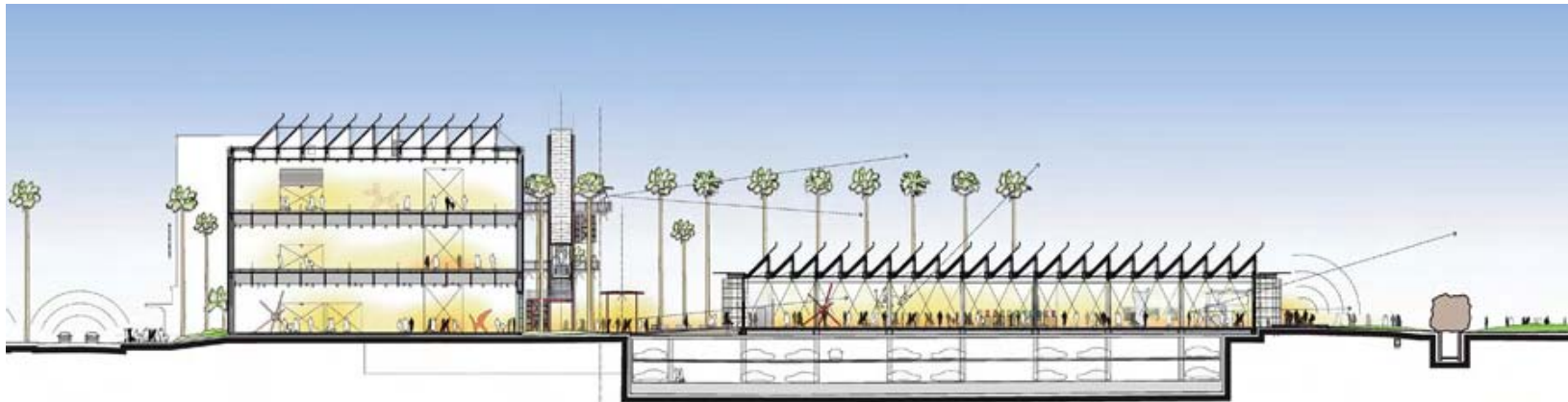
εικόνα 204.



εικόνα 205.



εικόνα 206.



Εικόνα 207. τομή του μουσείου σύγχρονης τέχνης στο los Angeles - πηγή: <http://rpbw.r.ui-pro.com>

Το μουσείο σύγχρονης τέχνης στο Los Angeles επίσης του Renzo Piano έχει ένα πιο βιομηχανικό χαρακτήρα εξαιτίας των προιονωτών ανοιγμάτων που αναφέρονται στα παλιά εργοστάσια της περιοχής. Προσανατολισμένα στο Βορρά εισάγουν στον εκθεσιακό χώρο του τρίτου ορόφου και στο ισόγειο τμήμα άπλετο φυσικό φως, το οποίο φιλτράρεται σε ένα δεύτερο επίπεδο και διαχέεται σε όλο τον εσωτερικό χώρο μέσω ενός συστήματος από διάτρητα υφάσματα κάτω από τα προιονωτά ανοίγματα.

Εικόνα 208. εξωτερική άποψη των προιονωτών ανοιγμάτων, μουσείο σύγχρονης τέχνης στο los Angeles

Εικόνα 209. εσωτερικό της έκθεσης στο μουσείο σύγχρονης τέχνης, los Angeles - πηγή εικόνων: <http://rpbw.r.ui-pro.com>



Στο μουσείο Kimbell ο Louis Kahn σε συνεργασία με τον Richard Kelly χρησιμοποίησαν ένα σύστημα από μεταλλικούς ανακλαστήρες κάτω από ένα κεντρικό άνοιγμα οροφής, που ανακλά το φως και το διαχέει προς τη θολωτή οροφή. Αν και πρόκειται για σύστημα έμμεσου φωτισμού, το αποτέλεσμα είναι μία φωτεινή οροφή που μοιάζει να αιωρείται μέσα στο χώρο. Λεπτομέρεια που συμβάλει σε αυτό είναι ο διαχωρισμός των τοίχων από την οροφή με τη μεσολάβηση μιας στενής λωρίδας τζαμιού που εισάγει φυσικό φως από το πλάι. Το φωτισμό συμπληρώνουν λαμπτήρες χαμηλής πίεσης αλογόνου με θερμοκρασία χρώματος 3200 K ώστε ο τεχνητός και ο φυσικός φωτισμός να αναμειγνύονται και να αποτελούν ένα σύνολο αδιάσπαστο. Ακόμα και το απόγευμα χωρίς ηλεκτρικό φωτισμό το φως που φτάνει στους πίνακες είναι της τάξης των 60 - 65 lux, ενώ όταν ανάβουν τα φώτα φτάνει στα 180 - 240 lux, πράγμα που φανερώνει τη σημασία του φυσικού φωτισμού μέσα στο χώρο, που αποτελεί το ένα τρίτο με ένα τέταρτο του συνολικού φωτισμού.



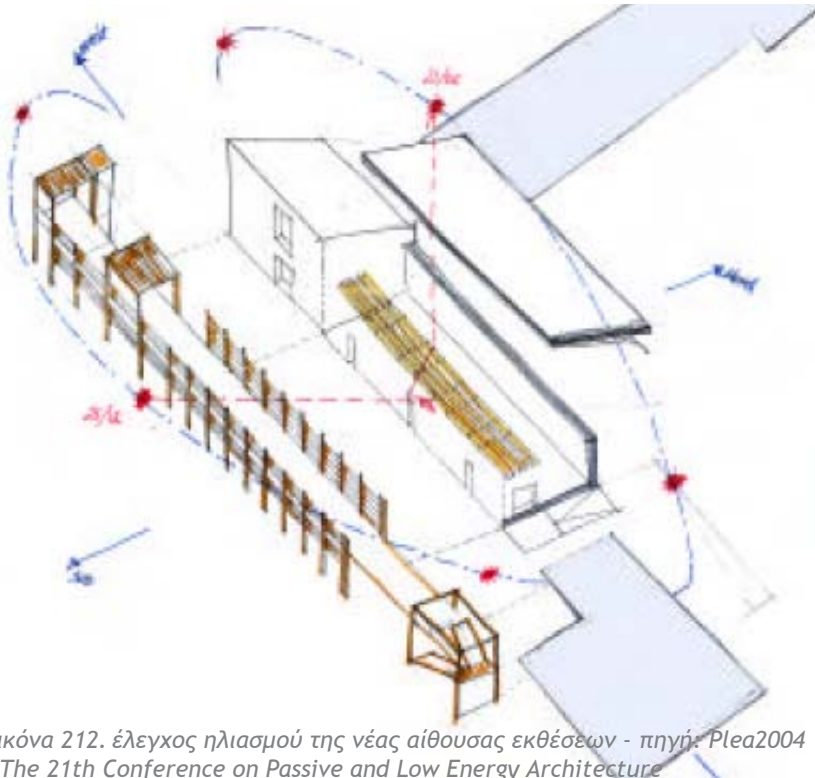
Εικόνα 210. (πάνω) λεπτομέρεια συστήματος φωτισμού, Kimbel museum, αρχιτ. Louis Kahn, Τέξας - πηγή: [www.architectureweek.com](http://www.architectureweek.com)

Εικόνα 211. Kimbel museum, αρχιτ. Louis Kahn, Τέξας - πηγή: [www.architectureweek.com](http://www.architectureweek.com)

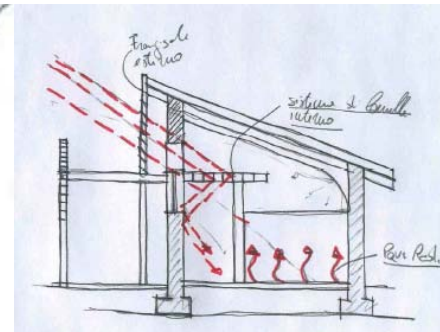


Στην τελευταία ενότητα του Β' μέρους θα ασχοληθούμε με τρεις περιπτώσεις ανακαίνισης μουσείων στο χώρο της Μεσογείου (Ελλάδα και Ιταλία) που χρησιμοποιούν πλευρικά ανοίγματα για την εισαγωγή φυσικού φωτός στο κτίριο.

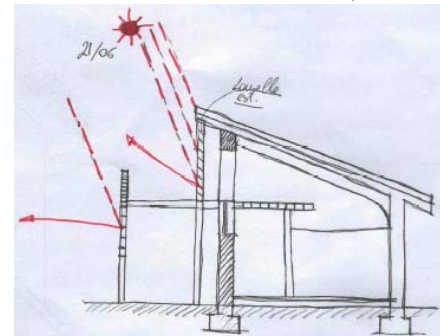
Αρχικά έχουμε το Ετρουσκικό μουσείο «Rompeo Arca» στο Marzabotto της Ιταλίας, το οποίο αποτελεί παράδειγμα για πάνω από 3.000 μουσεία μεσαίου μεγέθους που βρίσκονται στην Ιταλία. Αυτά τα μουσεία συνήθως ανήκουν στο Δημόσιο και φιλοξενούν ευρήματα από τους παρακείμενους αρχαιολογικούς χώρους. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος και η ενεργειακή τους απόδοση είναι πολύ φτωχές. Στην αρχική του κατάσταση στο μουσείο δεν υπήρχαν συστήματα ελέγχου του φυσικού φωτισμού με αποτέλεσμα να παρατηρείται ανομοιομορφία φωτισμού στο χώρο κατά τη διάρκεια του έτους, μεγάλα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι και απώλειες το χειμώνα. Με τη νέα μελέτη προσαρτήθηκε στη νότια πρόσοψη της κύριας αίθουσας ένας ξύλινος εξώστης με συγκεκριμένες θερμικές και ηλιακές λειτουργίες. Με την εισαγωγή παράλληλα σε αυτόν χοντρών τοίχων ο εκθεσιακός χώρος μοιράστηκε σε τρία μέρη που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε φωτισμό. Στην πρόσοψη το εξωτερικό σκίαστρο ελέγχει το φωτισμό που μπαίνει στο εσωτερικό του κτιρίου, όπου εσωτερική κουρτίνα διαχέει το φως. Έτσι οι εκθεσιακοί χώροι δέχονται σταθερό και ελεγχόμενο φωτισμό, ικανοποιώντας τις ανάγκες για προστασία των εκθεμάτων, αν και στην πλειοψηφία τους είναι αντικείμενα από μάρμαρο, πέτρα, μέταλλο και οστά. Έτσι δεν απαιτούνται αυστηρά επίπεδα ελέγχου από άποψη προστασίας. Στο διάδρομο έχουμε μεγαλύτερη ποικιλία στο φυσικό φωτισμό και παράλληλα διατηρείται η οπτική σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης με τους χοντρούς τοίχους αποφεύγεται η θάμβωση και δημιουργείται ένας μεταβατικός χώρος για την εισαγωγή στον κύριο εκθεσιακό χώρο. Το σύστημα τεχνητού φωτισμού λειτουργεί με αισθητήρες φωτός και παρουσίας, συμπληρώνοντας τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο.



Εικόνα 212. έλεγχος ηλιασμού της νέας αίθουσας εκθέσεων - πηγή: Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture



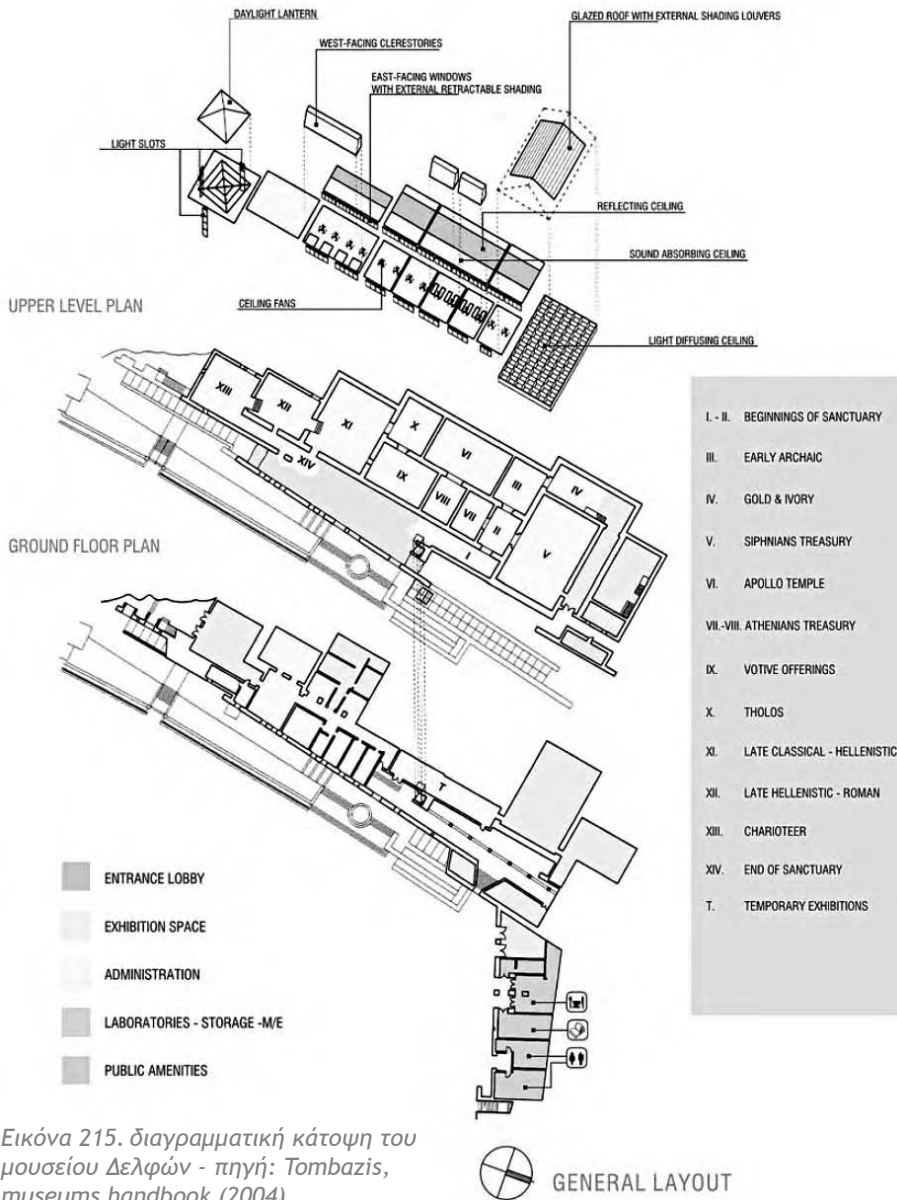
Εικόνα 213. τομή για τον ηλιασμό στις 21/12 και προσομοίωση στο RADIANCE - πηγή: Tombazis, museums handbook (2004)



Εικόνα 214. τομή για τον ηλιασμό στις 21/06 και προσομοίωση στο RADIANCE - πηγή: Tombazis, museums handbook (2004)



## BIOCLIMATIC FEATURES



Εικόνα 215. διαγραμματική κάτοψη του μουσείου Δελφών - πηγή: Tombazis, museums handbook (2004)

Το μουσείο των Δελφών αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα και σημαντικότερα μουσεία στον Ελλαδικό χώρο. Χτισμένο αρχικά το 1903, έχουν γίνει πολλές επεμβάσεις από τότε με στόχο την επέκταση των χώρων του και τη βελτίωση των εσωτερικών συνθηκών. η τελευταία επέκταση έγινε το 2003 από τον Αλ. Τομπάζη. Κατά την τεκμηρίωση διαπιστώθηκε ότι ο χώρος παρουσιάζει προβλήματα οπτικής άνεσης με υψηλά φαινόμενα θάμβωσης και άνιση κατανομή του φωτισμού. Το αρχικό κτίριο είχε επαρκή ανοίγματα για φωτισμό και αερισμό. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, ο σχεδιασμός και τη θέση τους δεν ήταν κατάλληλα, με αποτέλεσμα να προκαλούνται θάμβωση και προβλήματα υπερθέρμανσης. Για το λόγο αυτό, τα ανοίγματα επανασχεδιάστηκαν και τα παράθυρα αντικαταστάθηκαν με νέα διπλά τζάμια, περίπου το 50% των οποίων λειτουργούν με αυτοματισμούς για φυσικό αερισμό. Στο κτίριο υπάρχουν τρεις τυπολογίες αιθουσών για τις οποίες εφαρμόστηκαν διαφορετικές λύσεις.

Στην αίθουσα XI του Δάοχου σφραγίστηκαν τα υφιστάμενα χαμηλά ανατολικά παράθυρα, ενώ ανοίχτηκε μια σειρά από φεγγίτες με δυτικό προσανατολισμό. Στους υφιστάμενους ανατολικούς φεγγίτες τοποθετήθηκε εξωτερική σκίαση, ενώ τέλος αντικατάστηκαν μέρος των ψευδοροφών με νέες ανακλαστικές επιφάνειες ώστε να γίνεται καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτισμού.



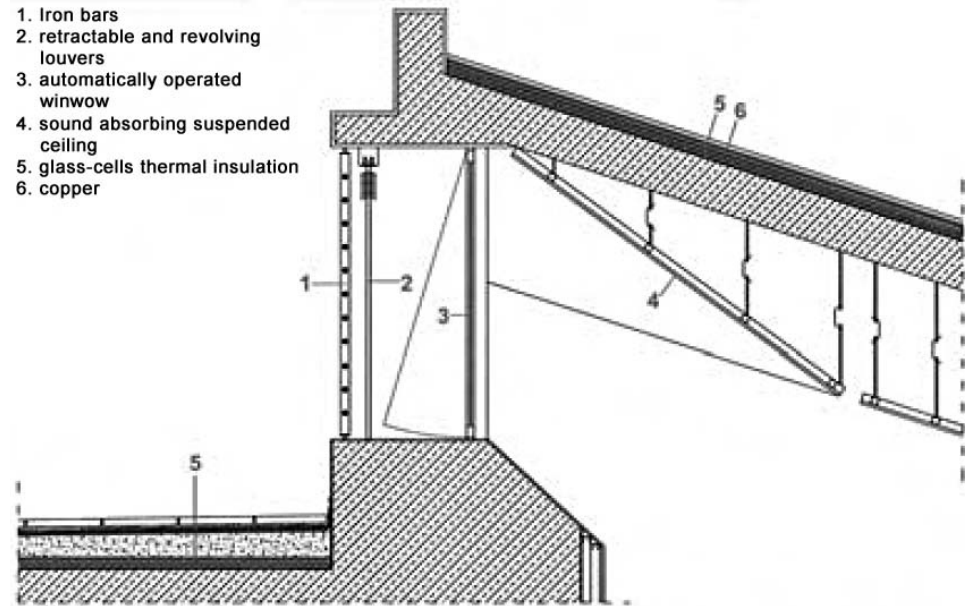
Εικόνα 216. αίθουσα του Δάοχου, μουσείο Δελφών - πηγή: Tombazis, museums handbook (2004)



Εικόνα 217.

Στην αίθουσα VI του Απόλλωνα προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα θάμβωσης και να εξαλειφθούν τα ηλιακά ίχνη που εμφανίζονταν στα εκθέματα, χρησιμοποιήθηκε εξωτερική σκίαση στα υφιστάμενα ανατολικά παράθυρα και ανακατασκευάστηκε η ψευδοροφή.

1. Iron bars
2. retractable and revolving louvers
3. automatically operated window
4. sound absorbing suspended ceiling
5. glass-cells thermal insulation
6. copper



0 0.5 1.00m  
Section Through East - Facing Window  
Εικόνα 220.



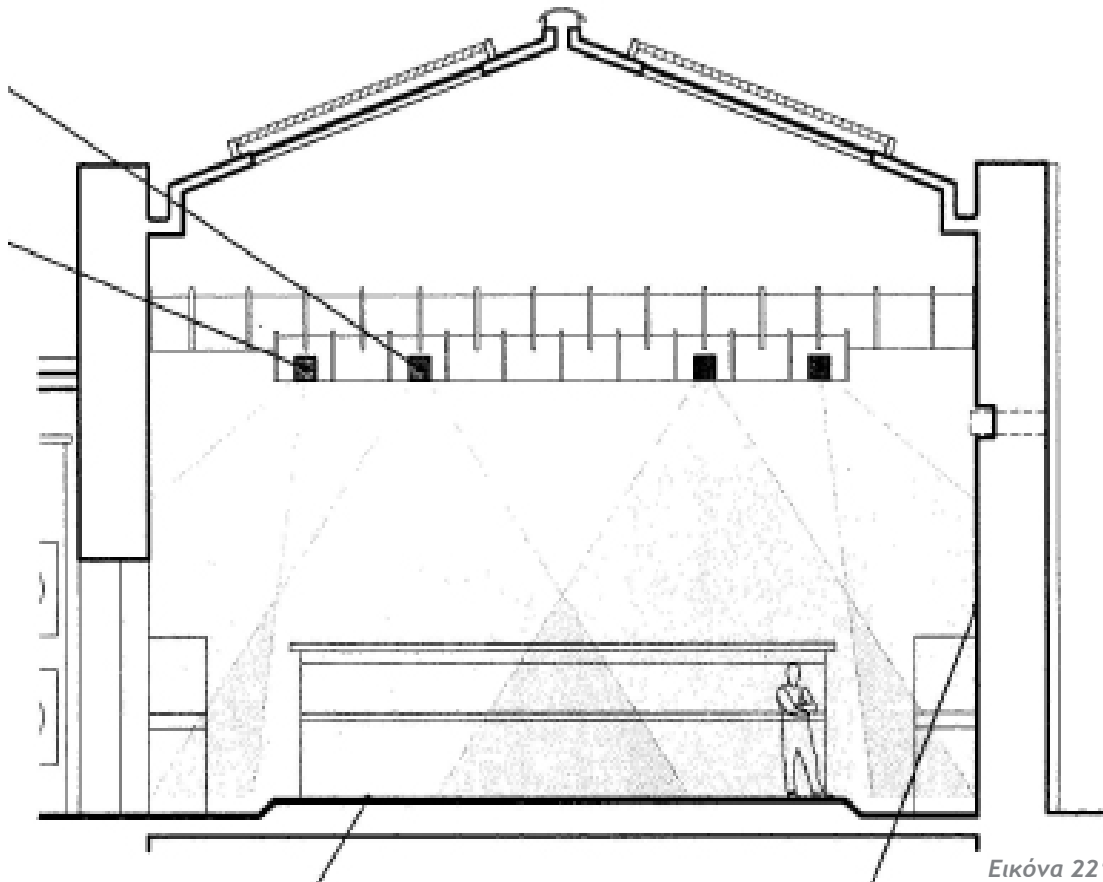
Εικόνα 218.



Εικόνα 219.

Εικόνα 217. άποψη τυπικής αίθουσας XI  
Εικόνα 218. εσωτερικό της αίθουσας του Απόλλωνα  
Εικόνα 219. ηλιακά ίχνη πριν τις επεμβάσεις στην αίθουσα του Απόλλωνα  
Εικόνα 220. λεπτομέρεια του ανατολικού φεγγίτη στην αίθουσα του Απόλλωνα - πηγή εικόνων: Tombazis, museums handbook (2004)

Η αίθουσα V των Σιφνίων φωτιζόταν από ένα τυπικό άνοιγμα οροφής και μέσω ειδικού τζαμιού το φως διαχεόταν στο εσωτερικό της αίθουσας. Επειδή δεν υπήρχε έλεγχος στη διείσδυση του φωτός, το αποτέλεσμα ήταν ομοιόμορφος φωτισμός χωρίς αντιθέσεις. Επίσης στο κατακόρυφο επίπεδο ο φωτισμός στους τοίχους ήταν μεγαλύτερος από το φωτισμό στο κέντρο του δωματίου όπου ήταν τοποθετημένα τα γλυπτά έργα. Έτσι με τις επεμβάσεις που έγιναν τα ανοίγματα της οροφής αντικαταστάθηκαν με νέα με εξωτερικές περσίδες για σκίαση που ελέγχουν τη διείσδυση του φυσικού φωτός επιτρέποντας μόνο την είσοδο έμμεσου φωτός. Επίσης κατασκευάστηκε μια νέα κυψελοειδής οροφή που λειτουργεί ως διαχύτης για το φωτισμό και τον ήχο, μειώνοντας το φωτισμό του υποβάθρου και διατηρώντας το φωτισμό στα γλυπτά σε υψηλότερα επίπεδα. Σημαντικό είναι ότι τα εκθέματα που βρίσκονται στο μουσείο Δελφών είναι μαρμαρίνα αγάλματα, μετώπες, αετώματα και άλλα μεταλλικά αντικείμενα από τον αρχαιολογικό χώρο των Δελφών, που δεν απαιτούν περιορισμό στο φωτισμό.



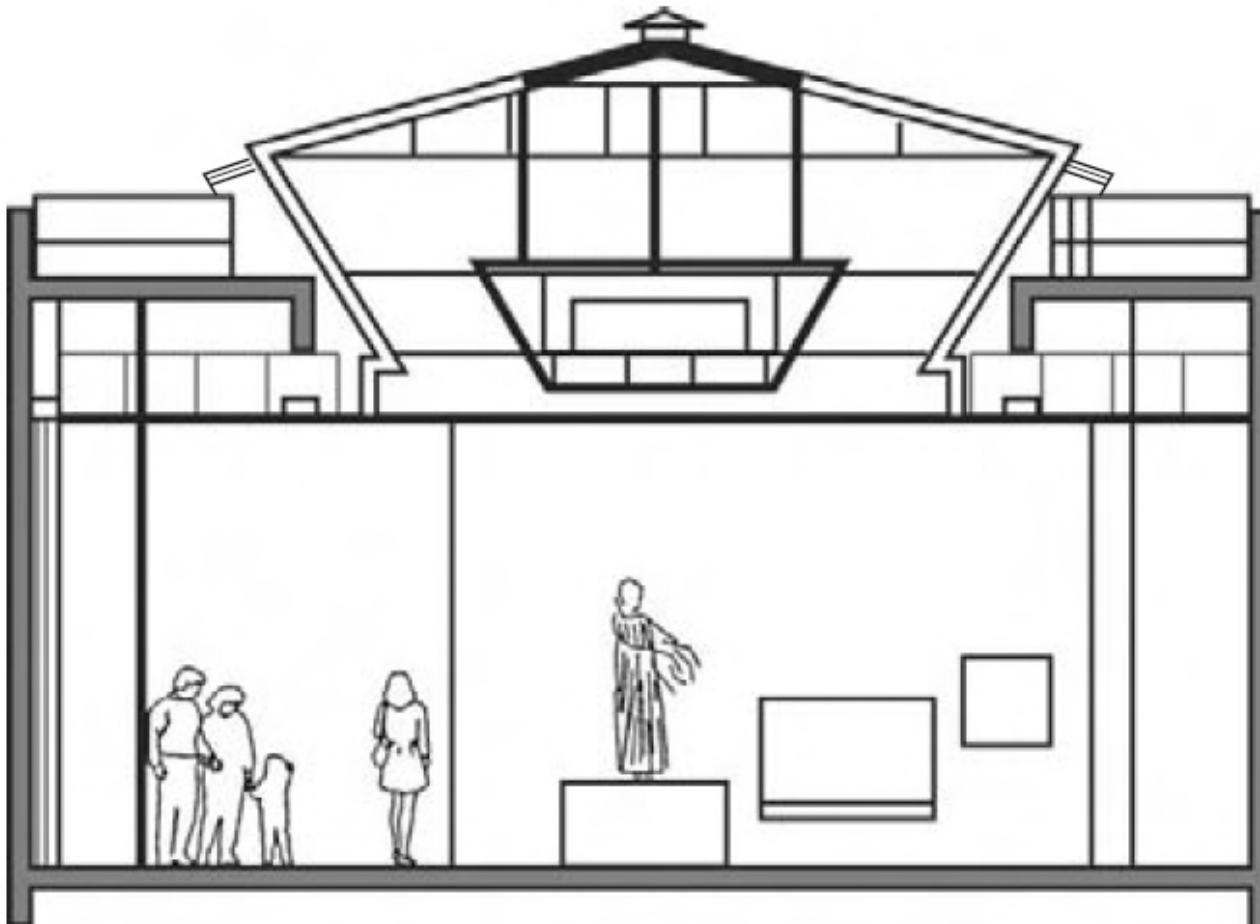
Εικόνα 221.

Εικόνα 221. τομή στην αίθουσα των Σιφνίων  
Εικόνα 222. άποψη της οροφής στην αίθουσα των Σιφνίων - πηγή εικόνων: Tombazis, museums handbook (2004)



Εικόνα 222.

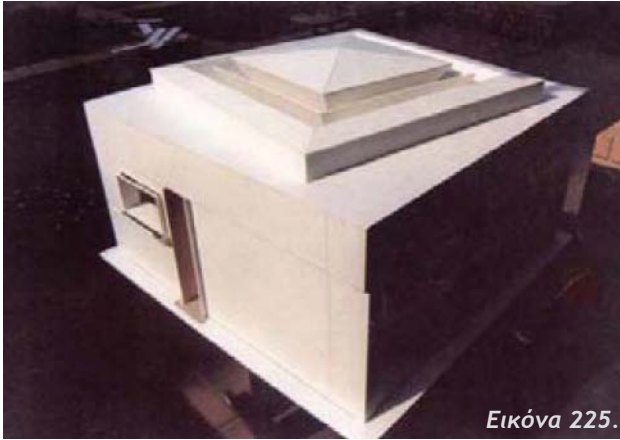
Το σημαντικότερο έκθεμα της συλλογής είναι ένα μπρούτζινο άγαλμα του Ηνίοχου, για το οποίο κατασκευάστηκε ειδική αίθουσα η οποία φωτίζεται από κεντρικό άνοιγμα στην οροφή, ώστε να αναδεικνύεται ο κατακόρυφος χαρακτήρας του και να τονίζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι κατακόρυφες πτυχώσεις του αγάλματος, χαρακτηριστικό για το οποίο είναι διάσημο. Η επιλεγθείσα διαμόρφωση οροφής ενσωματώνει μια πυραμιδοειδή οροφή με κλίση 60°, στην οποία έχει ενσωματωθεί μία σφηνοειδής κατασκευή διαστάσεων 2 x 2m ακριβώς πάνω από το άγαλμα. Το φως της ημέρας που εισέρχεται στο χώρο διαχέεται από το τζάμι Okalux, το οποίο προσφέρει παράλληλα καλή μόνωση. Οι ανεμιστήρες που είναι τοποθετημένοι στα κεκλιμένα ανοίγματα βοηθούν στην απομάκρυνση των ανεπιθύμητων ηλιακών κερδών. Μπροστά από τα παράθυρα σε τρεις πλευρές του δωματίου έχουν τοποθετηθεί κατακόρυφα πάνελα τα οποία αποκόπτουν το άμεσο φως και τη θάμβωση. Το έμμεσο φυσικό φως που τελικά εισέρχεται προσθέτει ποικιλία στις επιφάνειες των εσωτερικών τοίχων, δημιουργώντας διακριτικό υπόβαθρο για το άγαλμα. Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας το φυσικό φως που εισέρχεται στο χώρο είναι αρκετό για να φωτίσει το χώρο και να αναδείξει τον Ηνίοχο, με αποτέλεσμα ο τεχνητός φωτισμός να ανάβει αργά το απόγευμα.



- Εικόνα 223. η αίθουσα με τον Ηνίοχο στο μουσείο των Δελφών - πηγή: Derek Phillips, *Daylighting- natural light in architecture* (2004)
- Εικόνα 224. φωτογραφία της μακέτας όπου φαίνονται τα πάνελα μπροστά από τα ανοίγματα - πηγή: Derek Phillips, *Daylighting- natural light in architecture* (2004)
- Εικόνα 225. εξωτερική φωτογραφία της μακέτας όπου φαίνεται το άνοιγμα οροφής της αίθουσας με τον Ηνίοχο - πηγή: Derek Phillips, *Daylighting- natural light in architecture* (2004)
- Εικόνα 226. φωτογραφία της μακέτας στο εσωτερικό όπου αναπαρίσταται ο φωτισμός του χώρου - πηγή: Derek Phillips, *Daylighting- natural light in architecture* (2004)
- Εικόνα 227. η αίθουσα με τον Ηνίοχο - πηγή: Google image



Εικόνα 224.



Εικόνα 225.



Εικόνα 226.



Εικόνα 227.

Το Βυζαντινό Μουσείο του αρχιτέκτονα Κυριάκου Κρόκου στη Θεσσαλονίκη είναι το τελευταίο παράδειγμα αναφοράς για χρήση φυσικού φωτισμού. Στο μουσείο φιλοξενούνται έργα από τη βυζαντινή περίοδο που περιλαμβάνουν γλυπτά, πίνακες και υφάσματα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στο φως. Η στρατηγική για το φωτισμό του κτιρίου βασίζεται στη χρήση φεγγιτών για τους χώρους εκθέσεων και σε κατακόρυφα παράθυρα με θέα προς την εσωτερική αυλή για τους χώρους κυκλοφορίας. Μετά από κάποια χρόνια λειτουργίας του μουσείου κάποια από τα ανοίγματα έπρεπε αναγκαστικά να κλειστούν για λόγους προστασίας των ευαίσθητων εκθεμάτων, ενώ οι εσωτερικοί τοίχοι βάφτηκαν σε σκούρο καφέ χρώμα. Η κύρια αίθουσα εκθέσεων Β φωτίζεται από δύο σειρές από φεγγίτες στους απέναντι τοίχους οι οποίοι φιλτράρονται εξωτερικά από κατακόρυφες περσίδες από μπρετόν ώστε να αποκόπτουν μέρος της ακτινοβολίας. Επίσης τα τζάμια είναι ημιδιάφανα ώστε να αποκλείεται η εισαγωγή άμεσου φυσικού φωτός. Στο βορειοδυτικό άκρο της κεντρικής αίθουσας υπάρχει μια μικρή αίθουσα Α με ένα φεγγίτη ο οποίος έχει διαχυτικό γυαλί. Στην αίθουσα αυτή εκτίθενται ιδιαίτερα ευαίσθητα έργα και ο π.φ.φ. κυμαίνεται από 0,6% έως 1,2%. Μία άλλη στρατηγική εφαρμόστηκε στην αίθουσα C τετράγωνης κάτοψης. Το άνοιγμα οροφής βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο του δωματίου, πάνω από το κεντρικό στρογγυλό υποστύλωμα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ενδιαφέρον παιχνίδι φωτός και σκιάς με την κολώνα και τα δοκάρια.

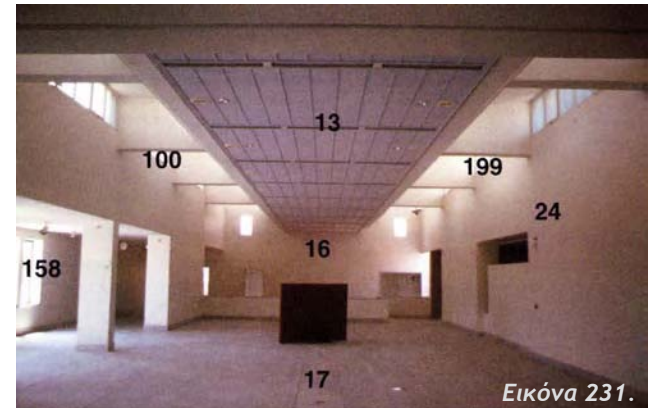
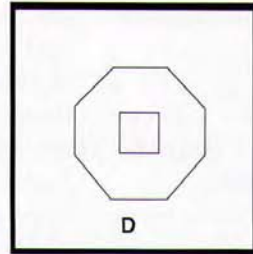
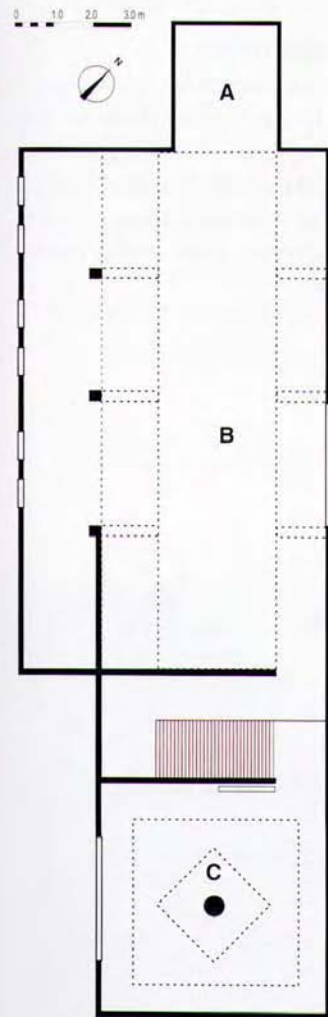


Εικόνα 228. (αριστερά) άποψη του κτιρίου σε μακέτα - πηγή: Fontoyront, *Daylight performance of buildings* (1999)

Εικόνα 229. (κάτω) εξωτερική άποψη του κτιρίου - πηγή: Google



Εικόνα 230. κάτοψη των χώρων εκθέσεων - πηγή: Fontoyont, Daylight performance of buildings (1999)



Εικόνα 231.



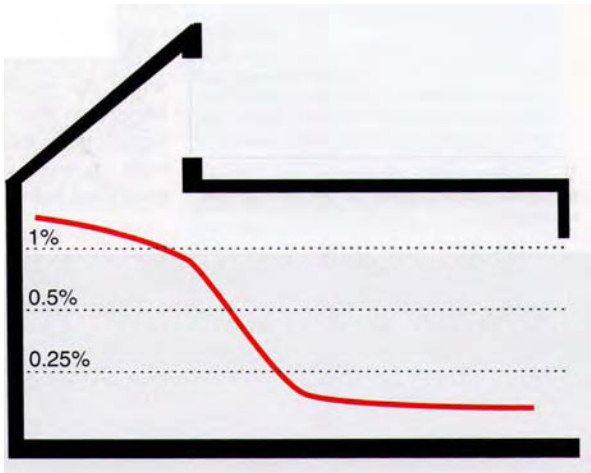
Εικόνα 232.

Εικόνα 231. η κύρια αίθουσα B αμέσως μετά την κατασκευή. Οι αριθμοί δείχνουν τις λαμπρότητες των επιφανειών - πηγή: Fontoyont, Daylight performance of buildings (1999)  
 Εικόνα 232. άποψη της αίθουσας B με τα εκθέματα - πηγή: www.mbr.gr  
 Εικόνα 233. άποψη τμήματος της κύριας αίθουσας μετά τον αποκλεισμό ορισμένων ανοιγμάτων και το βάψιμο των τοίχων σε σκούρο καφέ χρώμα προκειμένου να φιλοξενηθούν εκθέματα μεγάλης ευαισθησίας - πηγή: www.mbr.gr

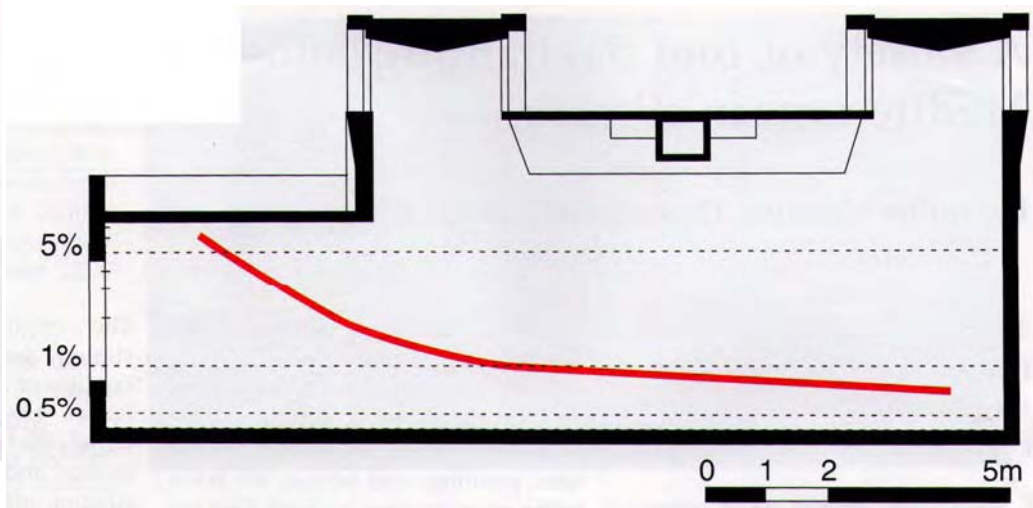


Εικόνα 233.

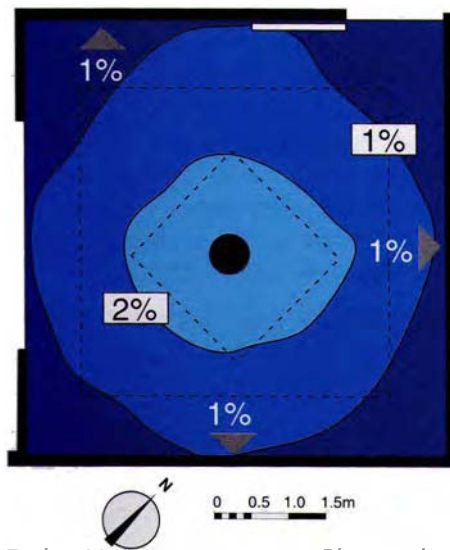




Εικόνα 234. τομή της αίθουσας Α - πηγή: Fontoyont, *Daylight performance of buildings* (1999)



Εικόνα 235. τομή της κύριας αίθουσας Β - πηγή: Fontoyont, *Daylight performance of buildings* (1999)



Εικόνα 236. οι π.φ.φ. στο οριζόντιο επίπεδο και στους τοίχους στην αίθουσα με το κεντρικό υποστύλωμα C - πηγή: Fontoyont, *Daylight performance of buildings* (1999)



Εικόνα 237. η αίθουσα με το κεντρικό υποστύλωμα C - πηγή: [www.mbp.gr](http://www.mbp.gr)



Η φθορά στα αντικείμενα προκαλείται από μια χημική αντίδραση, η οποία για να εκδηλωθεί χρειάζεται μία ορισμένη ποσότητα ενέργειας (activation energy). Στα μουσεία αυτή η ενέργεια μπορεί να εμφανιστεί από το φωτισμό (φωτοχημική αντίδραση) ή ακόμα και από τη θέρμανση (θερμική αντίδραση). Ορισμένες πηγές φωτισμού (πυράκτωσης) εκπέμπουν περισσότερη υπέρυθη ακτινοβολία από ό,τι ορατό φως. Η υπερθέρμανση των εκθεμάτων επιφέρει αλλαγή της σχετικής υγρασίας στην επιφάνεια των αντικειμένων, πράγμα που μπορεί να προκαλέσει ράγισμα, αποκόλληση του χρώματος από το υπόστρωμα και σπάσιμο των κολλητών ενώσεων. Τα αποτελέσματα της φωτοχημικής αντίδρασης είναι πιο σοβαρά και περιλαμβάνουν αλλοίωση των χρωμάτων των εκθεμάτων (που παρατηρείται άμεσα και με γυμνό μάτι) και μείωση της αντοχής των υλικών (αποσύνθεση). Η αλλοίωση αυτή είναι μη αναστρέψιμη και δεν μπορεί να αποκατασταθεί πλήρως από συντηρητές έργων τέχνης. Οι αλλοιώσεις στο χρώμα συνήθως γίνονται αντιληπτές στα σημεία που εν μέρει προστατεύονται σε σχέση με τα τελείως εκτεθειμένα, όπως οι άκρες των πινάκων που είναι καλυμμένες με κορνίζα. Η έκταση της φθοράς που μπορεί να εμφανιστεί στα εκθέματα εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

Τη φασματική κατανομή του φωτός (περιεκτικότητα σε υπεριώδη και υπέρυθη ακτινοβολία), την ποσότητα του φωτός που προσπίπτει σε αυτά και το χρόνο έκθεσης. Γι' αυτό το λόγο η ελαχιστοποίηση της φθοράς εξαιτίας του φωτός στα μουσεία είναι κριτικής σημασίας. Αυτό μπορεί να γίνει μειώνοντας κατά το δυνατό την υπεριώδη ακτινοβολία, τα επίπεδα φωτισμού και το χρόνο έκθεσης. Επίσης σημαντικό είναι να ομαδοποιούνται αντικείμενα που έχουν όμοιες απαιτήσεις φωτισμού. Ο βαθμός στον οποίο διαφορετικά αντικείμενα φθείρονται υπό τις ίδιες συνθήκες φωτισμού έχει να κάνει με τη χημική τους σύσταση.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι τα οργανικά υλικά είναι περισσότερο ευαίσθητα στη φωτοχημική αντίδραση σε σχέση με τα ανόργανα.

Ειδικότερα έχουμε τις παρακάτω τρεις κατηγορίες, στις οποίες αντιστοιχούν τα μέγιστα ποσά φωτισμού και χρόνου έκθεσης: (προφανώς αν πρόκειται για πίνακες τα επίπεδα αυτά αναφέρονται στο κατακόρυφο επίπεδο του τοίχου)

- Υλικά πολύ ευαίσθητα στο φως (μετάξι, εφημερίδες)  
50 lux → 15.000 lux\*h
- Υλικά μετρίως ευαίσθητα στο φως (οργανικά υλικά, φυσική ιστορία, εκτυπώσεις, υφάσματα, χειρόγραφα, υδατογραφίες)  
50 lux → 150.000 lux\*h
- Υλικά ελαφρώς ευαίσθητα στο φως (λάδια, τέμπερα, κέρατα, κόκαλα, ξύλο, βερνίκι, ελεφαντόδοντο)  
150-200 lux → 600.000 lux\*h
- Υλικά χωρίς ευαισθησία στο φως (μέταλλο, μάρμαρο, γυαλί, πέτρα, κεραμικά, ορυκτά)  
χωρίς περιορισμό (συνήθως 300 lux είναι αρκετά) → άπειρος χρόνος έκθεσης

Το φως λειτουργεί αθροιστικά, με αποτέλεσμα να έχει σημασία η συνολική έκθεση του αντικειμένου σε αυτό, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Έκθεση (lux*h)} = \text{φωτισμός (lux)} * \text{χρόνος έκθεσης (h)}$$

Έτσι 50 lux για 5 ώρες ισοδυναμούν με 250 lux για 1 ώρα. Ωστόσο αυτό δε σημαίνει ότι αν διπλασιάσουμε την έκθεση θα διπλασιαστεί και η φθορά. Ωστόσο, με διπλάσιο φωτισμό ο χρόνος στον οποίο θα συμβεί η συγκεκριμένη φθορά θα μειωθεί στο μισό. Τα ποσοστά για τη φθορά των αντικειμένων μειώνονται με το χρόνο, μέχρι ένα σημείο όπου το υλικό δεν ξεθωριάζει άλλο. Το σημαντικό είναι ότι δεν υπάρχει επίπεδο φωτισμού κάτω από το οποίο να σταματά εντελώς η φθορά, οπότε τα επίπεδα φωτισμού καθορίζονται από την ελάχιστη απαιτούμενη φθορά. Ενδεικτικά, μία ώρα ήλιο έχω 50.000 lux\*h.

Μία λύση για τη μείωση του χρόνου έκθεσης των εκθεμάτων θα μπορούσε να αποτελεί το να κλείνει το σύστημα φωτισμού τις ώρες εκτός λειτουργίας του μουσείου και όταν δεν υπάρχουν επισκέπτες στο χώρο. Σε ορισμένες περιπτώσεις επίσης κρίνεται καταλληλότερη η έκθεση αντιγράφων και όχι των αυθεντικών έργων τέχνης. Αυτό πρέπει να γίνεται κατ' αρχήν γνωστοποιώντας το στο θεατή και φυσικά δεν μπορεί να αποτελέσει γενική πρακτική, καθώς από και πέρα τίθενται άλλα θέματα κοινωνικά και ηθικά σε σχέση με την τέχνη που ξεφεύγουν από την παρούσα ανάλυση.



Adam Pynacker - "Landscape with Sportsmen and Game", 1811. - Courtesy of the Dulwich Picture Gallery, London

Εικόνα 238. παράδειγμα φθοράς σε πίνακα ζωγραφικής, όπου το χρώμα των φύλλων από πράσινο έχει γίνει μπλε - πηγή: Thomson, *The museum environment* (1994)

Η φασματική κατανομή των πηγών φωτισμού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για την προστασία των εκθεμάτων. Θεωρητικά όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος της προσπίπτουσας στο έκθεμα ακτινοβολίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια άρα συνεπώς και η φθορά που θα προκληθεί.

Η ορατή ακτινοβολία κυμαίνεται ανάμεσα στα 760 και τα 400 nm (χοντρικά πέρα από τα 700 nm το κόκκινο είναι σχεδόν αόρατο).

Πέρα από τα 760 nm η ακτινοβολία ονομάζεται υπέρυθη (IR) και προκαλεί μόνο θέρμανση. Επειδή την υπέρυθη ακτινοβολία δεν μπορούμε να τη μετρήσουμε, γι' αυτό το λόγο δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο όριο γι' αυτήν στις πηγές φωτισμού σε μουσεία, ωστόσο πρέπει να αποφεύγεται.

Πέρα από τα 400 nm βρίσκεται η υπεριώδης ακτινοβολία. Αυτό που μας απασχολεί είναι τα μήκη κύματος 300 - 400 nm. Το όριο των 300 nm προκύπτει από το ότι μήκη κύματος κάτω των 300 nm δεν μπορούν να εισχωρήσουν στην ατμόσφαιρα. Για να εισχωρήσει το φυσικό φως μέσα σε ένα κτίριο πρέπει να περάσει από το τζάμι, ενώ αν πρόκειται για τεχνητό φως πρέπει να περάσει από το γυάλινο κάλυμμα της λάμπας. Αυτό θα περιορίσει την εισχώρηση της υπεριώδους ακτινοβολίας και θα μειώσει το όριο περίπου στα 325 nm. Έτσι η υπεριώδης ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο και φτάνει στα εκθέματα τελικά ανήκει σε μήκη κύματος 325 - 400 nm. Βέβαια μπορεί να μειωθεί κι άλλο με τη χρήση ειδικών φίλτρων και επιστρώσεων.

Στην ουσία δηλαδή το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα για τις πηγές φωτισμού των μουσείων χωρίζεται σε τρία μέρη, ανάλογα με το μήκος κύματος: 300-400 nm υπεριώδης, 400-760 nm ορατή ακτινοβολία και πέρα από τα 760 nm υπέρυθη.

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η υπεριώδης ακτινοβολία προκαλεί μεγαλύτερη φθορά από την μπλε ακτινοβολία η οποία με τη σειρά της προκαλεί μεγαλύτερη φθορά από την κίτρινη. Σε όλες τις πηγές φωτός η υπεριώδης ακτινοβολία που εκπέμπεται είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την ορατή, οπότε το ερώτημα που προκύπτει είναι «ποια από τις δύο προκαλεί μεγαλύτερη ζημιά; Η ορατή ή η υπεριώδης;»

### Ορατή ακτινοβολία - τρόποι ελέγχου

Πρέπει να εξισορροπήσουμε τις ανάγκες για φωτισμό και τη φθορά που προκαλείται στα εκθέματα. Γι' αυτό πρέπει να περιορίσουμε το φωτισμό σε επίπεδο όπου μπορούμε να βλέπουμε και να αντιλαμβανόμαστε σωστά τα χρώματα και τις λεπτομέρειες των εκθεμάτων, ενώ ταυτόχρονα να έχουμε την ελάχιστη ανεκτή φθορά ανάλογα με την ευαισθησία τους, καθώς και να μειώσουμε όπου και όποτε είναι δυνατόν το χρόνο έκθεσης στο φως.

Μέσα από μελέτες και πειράματα που έχουν γίνει σχετικά με την ανάδειξη των εκθεμάτων και την ποιότητα του φωτισμού στα μουσεία, έχει αποδειχθεί ότι αν εξασφαλίζεται η αποφυγή θάμβωσης, τα 50 lux είναι η ελάχιστη ποσότητα φωτός που μπορεί να εξασφαλίζει ικανοποιητικό φωτισμό ακόμα και για μικρά αντικείμενα με χαμηλό contrast. Το αίσθημα ικανοποίησης των θεατών αυξάνεται όσο ανεβαίνουν τα επίπεδα φωτισμού και μέχρι τα 200 lux, πάνω από τα οποία τα οφέλη που παρατηρούνται είναι μικρά. Έτσι θέτοντας τα 50 lux απαραίτητα για να έχουμε ικανοποιητικές συνθήκες φωτισμού, όπου είναι αποδεκτό από άποψη προστασίας των εκθεμάτων τα επίπεδα φωτισμού μπορούν να ανέβουν μέχρι τα 200 lux. Σύμφωνα με μια αμερικανική έρευνα του 1972 αποδείχθηκε ότι η εξισορρόπηση των επιπέδων φωτισμού ανάμεσα στα εκθέματα και τον υπόλοιπο χώρο είναι πιο σημαντική από το φωτισμό των ίδιων των εκθεμάτων. Έτσι 100 με 200 lux προερχόμενα από λαμπτήρες με καλή χρωματική απόδοση ήταν αρκετά για την αντίληψη των λεπτομερειών στα έργα.



Εικόνα 239. μηχανοκίνητες περσίδες που ελέγχουν το φυσικό φως που εισέρχεται από ανοίγματα οροφής - πηγή: Cuttle, *Light for art's sake* (2007)

**50 lux** - Για τα 50 lux ο τεχνητός φωτισμός θεωρείται καταλληλότερος σε σχέση με το φυσικό φως, το οποίο όταν διαχέεται σε αυτά τα επίπεδα είναι ψυχρό και καταθλιπτικό. Αντίθετα αν χρησιμοποιηθούν λαμπτήρες φθορισμού που βγάζουν θερμό χρώμα το αποτέλεσμα είναι πιο φωτεινό και ευχάριστο για τους χρήστες του χώρου. Επίσης αυτό που έχει μεγάλη σημασία είναι η προσαρμογή του ματιού σε διαφορετικά επίπεδα φωτισμού γι' αυτό είναι απαραίτητοι οι μεταβατικοί χώροι κατά την είσοδο στο μουσείο και ανάμεσα σε αίθουσες που έχουν διαφορετικό φωτισμό. Τέλος μία άλλη σημαντική παράμετρος είναι το υπόβαθρο στο οποίο εκτίθενται τα εκθέματα και θα αναλυθεί παρακάτω.

**200 lux** - Όσο για το όριο των 200 lux, μπορούμε να το φτάσουμε είτε αποκλείοντας τόσο φως ώστε τις μέρες με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια ο φωτισμός να μην ξεπερνάει τα 200 lux, είτε εισάγοντας συστήματα διάχυσης, ανακατεύθυνσης του φωτός και σκίασης. Αυτά μπορεί να ελέγχονται με αυτόματο τρόπο με φωτοκύτταρα, ώστε να προσαρμόζονται κάθε στιγμή στις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού (ακριβή λύση) ή να ελέγχονται χειροκίνητα από εξειδικευμένο προσωπικό που θα παρακολουθεί τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο. Επειδή όπως αναφέρθηκε παραπάνω το φως δρα αθροιστικά, αποδεκτή λύση θα μπορούσε να αποτελεί ο έλεγχος της ετήσιας δόσης φωτισμού που δέχονται τα εκτιθέμενα έργα, με την προϋπόθεση όμως ότι θα υπάρχει κάποιο σύστημα συνεχούς και συστηματικής καταγραφής των επιπέδων φωτισμού όλο το χρόνο. Όταν η ετήσια έκθεση θα ξεπερνάται, τα εκθέματα θα αποθηκεύονται σε σκοτεινό μέρος. Αντίθετα αν πρόκειται για ηλεκτρική εγκατάσταση, ο έλεγχος των επιπέδων φωτισμού μπορεί να γίνει πολύ πιο εύκολα απλοποιώντας τη διαδικασία. Αυτή ακριβώς είναι η διαφορά που κάνει συνήθη τη χρήση τεχνητού έναντι φυσικού φωτός σε χώρους μουσείων.

### Υπεριώδης ακτινοβολία UV - τρόποι ελέγχου

Ο περιορισμός της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορεί εύκολα να επιτευχθεί και λόγω του ότι είναι αόρατη στο ανθρώπινο μάτι, δεν επηρεάζει την αντίληψή μας για τα χρώματα. Για τον περιορισμό της το πρώτο που κάνουμε είναι να φιλτράρουμε, να περιορίσουμε (έως και να αποκόψουμε τελείως κατά περίπτωση) το φυσικό φως και μετά να ελέγξουμε τις πηγές τεχνητού φωτισμού όσον αφορά τη φασματική τους κατανομή (spectral distribution). Το ιδανικό φίλτρο θα πρέπει να αποκόψει όλα τα μήκη κύματος μέχρι τα 400 nm χωρίς να εμποδίζει τη διαπερατότητα του φωτός.

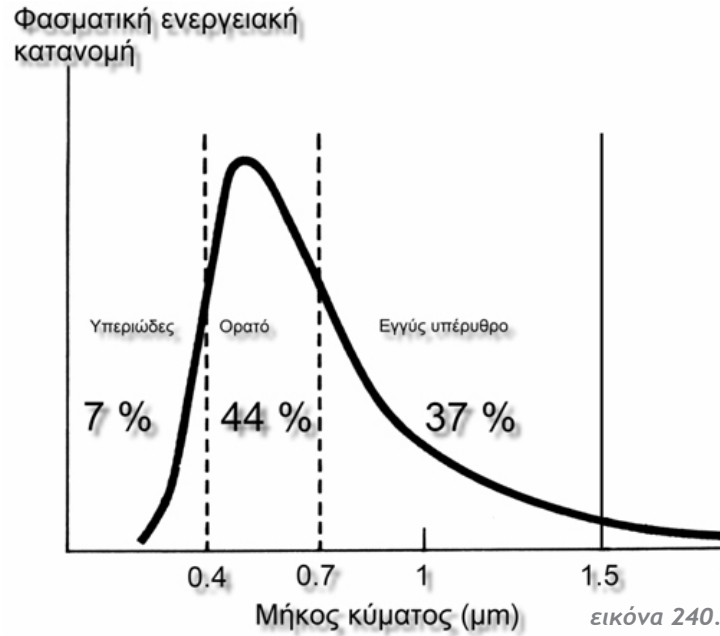
Αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο να συμβεί στην πραγματικότητα μόνο με τζάμι. Ωστόσο υπάρχουν πολλά πλαστικά φίλτρα που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία και τα οποία για να είναι αποτελεσματικά πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να καλύπτουν πλήρως τα ανοίγματα. Χωρίζονται σε κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους:

- ειδικά κατεργασμένα ακρυλικά ή πολυκαρβονικά φύλλα πάχους 3-6 χιλιοστών (διαφανή ή διαχυτικά) που χρησιμοποιούνται αντί για το τζάμι (ή για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τοποθετούνται στην εσωτερική πλευρά του υαλοπίνακα) σε παράθυρα και ανοίγματα οροφής και ως διαχύτες σε λαμπτήρες φθορισμού (Perspex VE, Oroglas UF3, Plexiglas 201). Έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα, τουλάχιστον 10 χρόνια.
- Η τελευταία γενιά υαλοπινάκων παρουσιάζει φασματικά επιλεκτικές δυνατότητες (spectrally selective), επιτρέποντας τη δίοδο μόνο της ορατής ακτινοβολίας και αποκόποντας την υπεριώδη και την υπέρυθη. Αποτελούν εξέλιξη των πολυκαρβονικών υλικών και πιο ακριβή αλλά μόνιμη λύση.
- Διαφανείς μεμβράνες που επικολλούνται πάνω στο τζάμι (συνήθως σε υφιστάμενα κτίρια). Το βασικό πρόβλημα όλων των μεμβρανών είναι η διαφορετική θερμοκρασία που είναι εξαιρετικά πιθανό να εμφανιστεί σε γειτονικές περιοχές του ίδιου τεμαχίου και οδηγεί σταδιακά σε αποκόλληση, ελαττώνοντας τη διάρκεια ζωής τους. Χαρακτηριστική περίπτωση αυτού του τύπου είναι η τοποθέτηση φιλμ σε υαλοπίνακα ο οποίος είναι εφοδιασμένος με σκίαστρο, με αποτέλεσμα ανάμεσα στο σκιασμένο και στο δεχόμενο ηλιακή ακτινοβολία τμήμα του φιλμ να αναπτύσσεται μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας. Σημαντική εξέλιξη της τεχνολογίας αποτελούν οι αντικολλητοί υαλοπίνακες (laminated glass), οι οποίοι δημιουργούνται από δύο ή τρεις υαλοπίνακες που κολλούνται μεταξύ τους με τη βοήθεια διαφανούς υλικού που μπορεί να παρουσιάζει μεγάλη απορροφητικότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία. Ο υαλοπίνακας που προκύπτει είναι ασφαλείας, οπότε μπορεί να καλύψει ταυτόχρονα δύο ανάγκες.
- Βαφές που αν επιστρωθούν με ειδικά εργαλεία γίνονται διάφανες και αποτελούν πολύ καλή λύση για παινιά ανοίγματα. Η άσπρη βαφή που περιέχει διοξείδιο του τιτανίου απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία. Το διοξείδιο του τιτανίου είναι κοινή χρωστική για άσπρες βαφές, ωστόσο το ίδιο αποτελεσματικός είναι ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος. Ο ασβέστης αντίθετα δεν απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία.

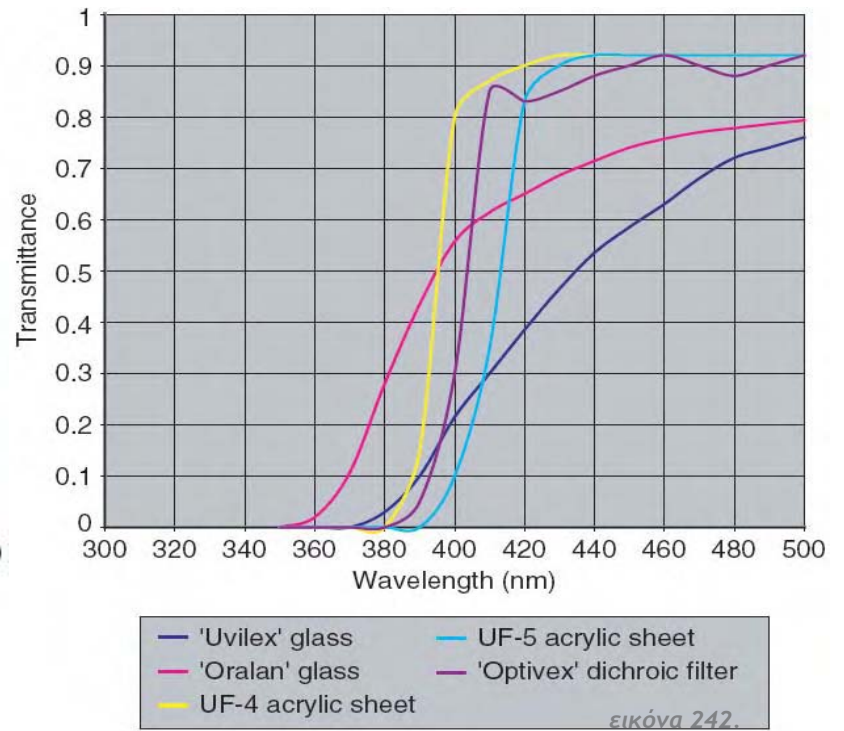
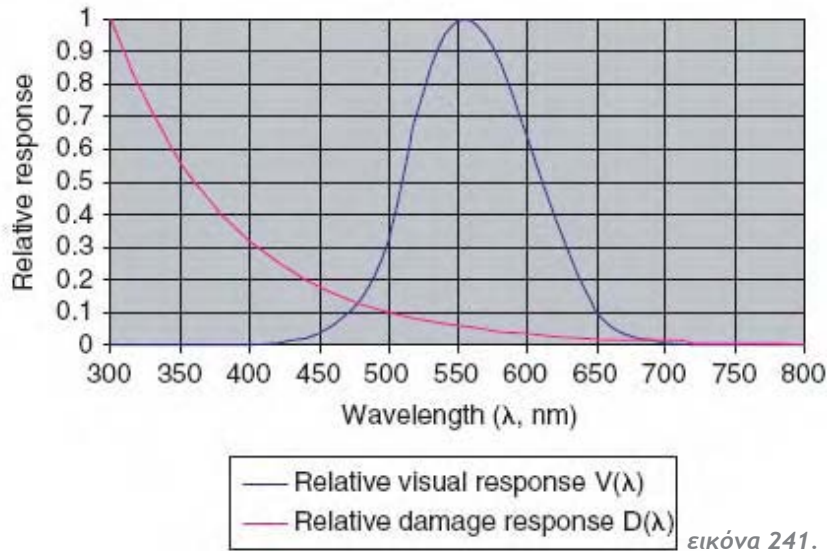
Το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο υπεριώδους ακτινοβολίας σε μουσεία είναι 75  $\mu\text{W}/\text{l}$ , όσο εκπέμπουν δηλαδή οι λαμπτήρες πυράκτωσης οι οποίοι δε χρειάζονται φίλτρα για την υπεριώδη ακτινοβολία.

Ακολουθώντας παρουσιάζονται κάποιες τυπικές τιμές υπεριώδους ακτινοβολίας:

- Καθαρός ουρανός 1.600  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Νεφοσκεπής ουρανός 800  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Άμεσος ήλιος 400  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Φθορισμός 40 - 250  $\mu\text{W}/\text{lm}$  → με ακρυλικό διαχύτη 13  $\mu\text{W}/\text{lm}$  → με φίλτρο 2  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Πυράκτωση 75  $\mu\text{W}/\text{lm}$



Εικόνα 240. φασματική ενεργειακή κατανομή ηλιακού φωτός - πηγή: Τσαγκρασούλης, σημειώσεις μαθήματος Φωτισμού Π.Θ.  
 Εικόνα 241. σχέση μήκους κύματος της ακτινοβολίας με τη φθορά και την οπτική μας αντίληψη - πηγή : Cuttle, Light for art's sake (2007)  
 Εικόνα 242. φασματική κατανομή διαφόρων φίλμ που κόβουν την υπεριώδη σκτινοβολία - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)



## ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

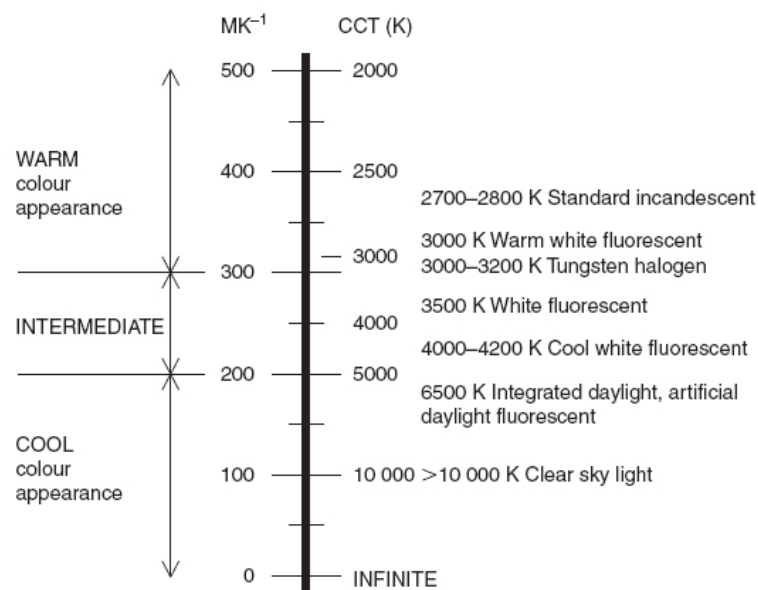
Πρωταρχικός σκοπός του συστήματος τεχνητού φωτισμού είναι να ενισχύει και να συμπληρώνει το φυσικό φωτισμό, χωρίς να αποσπά την προσοχή των θεατών από τα εκθέματα. Θα πρέπει εξίσου να αφορά τις γενικότερες συνθήκες οπτικής άνεσης σε όλους τους χώρους του μουσείου με σκοπό τον εύκολο και ασφαλή προσανατολισμό, τη κίνηση μέσα και έξω από το κτίριο, την ανάγνωση, τις αγορές βιβλίων ή αναμνηστικών και την ανάπαυση στον υπαίθριο χώρο ή σε κάποιο café. Άλλοι παράγοντες όπως για παράδειγμα ο φωτισμός ασφαλείας ή ο φωτισμός για τη καθαριότητα των χώρων αποτελούν εξίσου σημαντικό αντικείμενο μελέτης για την αποτελεσματική ενσωμάτωσή τους στο σύστημα φωτισμού του κτιρίου, στο αρχιτεκτονικό υπόβαθρο και στη φιλοσοφία της έκθεσης. Η ενσωμάτωση όλων αυτών των διαφορετικών απαιτήσεων μπορεί να γίνει με τρόπο που η διαφοροποίηση των δύο ειδών φωτισμού να μην είναι εύκολα αντιληπτή. Το ανακλώμενο για παράδειγμα τεχνητό φως ενισχύει το γενικό φωτισμό του χώρου, που μπορεί να βασίζεται στην εισαγωγή φυσικού φωτός. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην περίπτωση ανάμιξης φυσικού και τεχνητού φωτός στην επιλογή της θερμοκρασίας χρώματος των λαμπτήρων, ώστε να αναδεικνύονται τα χαρακτηριστικά των εκθεμάτων χωρίς να αλλοιώνονται ή να παρερμηνεύονται. Ενδεικτικά ο ακόλουθος πίνακας συσχετίζει τα χρώματα με θερμοκρασίες χρώματος της φωτεινής πηγής. Η θερμοκρασία χρώματος μιας φωτεινής πηγής μετριέται σε βαθμούς Kelvin (K) και αντιπροσωπεύει τη θεωρητική θερμοκρασία χρώματος, που αποκτά μια σιδερένια ράβδος κατά τη διαδικασία της θέρμανσής της. Έτσι λέμε ότι μια φωτεινή πηγή εκπέμπει θερμό φως (κιτρινίζει) όταν η θερμοκρασία χρώματος της είναι < 3300K και ψυχρό φως (μπλεδίζει) όταν είναι > 5000K. Ανάμεσα στα 3300 και 5000 K το λευκό φως χαρακτηρίζεται ουδέτερο, ενώ όταν πρασινίζει δεν το δεχόμαστε ως φυσικό. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρώματος υπάρχει ένα όργανο που λέγεται «μετρητής χρώματος» και μετράει το φωτισμό, τη χρωματικότητα και τη θερμοκρασία χρώματος. Ωστόσο όταν δεν είναι διαθέσιμο, πρέπει ο μελετητής να ανατρέχει στα χαρακτηριστικά του κατασκευαστή του λαμπτήρα.

Εικόνα 244. η θερμοκρασία χρώματος σε σχέση με το φυσικό και τον τεχνητό φωτισμό - πηγή: Cuttle, *Lighting by design* (2003)

Χρώμα επιφάνειας	Θερμοκρασία χρώματος φωτεινής πηγής
Άσπρο - μαύρο - γκρίζο	3.000 - 4.000 K
Κόκκινο	3.000 K
Κίτρινο	4.000 K
Πράσινο	5.000 K
Μπλε	6.000 K

Εικόνα 243. πηγή: περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ, τεύχος 2/2009

Το ανθρώπινο μάτι έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στο φως χαμηλής θερμοκρασίας χρώματος από ότι στο υψηλής. Έτσι για παράδειγμα ο φωτισμός ενός χώρου με λαμπτήρες πυράκτωσης αλογόνου που έχουν χαμηλή θερμοκρασία χρώματος δημιουργεί στον παρατηρητή την εντύπωση ότι είναι έντονα φωτισμένος, ενώ για να πετύχουμε την ίδια εντύπωση χρησιμοποιώντας λαμπτήρες φθορισμού με υψηλότερη θερμοκρασία χρώματος απαιτούνται αισθητά υψηλότερα επίπεδα φωτισμού. Εδώ πρέπει να αναφερθεί για ακόμα μία φορά ότι η ικανότητα των φωτεινών πηγών να αποδίδουν τα χρώματα με ακρίβεια είναι ύψιστης σημασίας στο περιβάλλον των μουσείων, γι' αυτό θέλουμε πολύ καλό δείκτη χρωματικής απόδοσης γύρω στο 95.



Οι κύριες πηγές τεχνητού φωτισμού σε μουσεία είναι οι εξής:

- πυράκτωση (*incandescent*)

υπάρχει ποικιλία στη μορφή και την ισχύ των λαμπτήρων πυράκτωσης, με καθαρό γυαλί, οπαλίνα ή ενσωματωμένους ανακλαστήρες. Έχουν άριστο δείκτη χρωματικής απόδοσης και εκπέμπουν το ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσό υπεριώδους ακτινοβολίας 75  $\mu\text{W}/\text{lm}$ , ενώ το ζεστό τους χρώμα κολακεύει την όψη των αντικειμένων. Μία γνωστή παραλλαγή είναι η «coolbeam», που έχει διχρωμικό ανακλαστήρα ο οποίος ανακλά το φως αλλά επιτρέπει στην υπέρυθρη ακτινοβολία να ξαναπεράσει μέσα στη λάμπα, μειώνοντας τη θέρμανση. Το 94% της ακτινοβολίας που εκπέμπει μία λάμπα πυράκτωσης μετατρέπεται σε ζέστη, όχι φως. Η προσθήκη μικρής ποσότητας αλογόνου παράγει μία πιο αποδοτική και πιο λευκή λάμπα με άριστη χρωματική απόδοση, την πυράκτωσης αλογόνου, [Halogen PAR και Mirrored-Reflector (MR)] η οποία όμως χρειάζεται ένα προστατευτικό κάλυμμα από γυαλί όχι σε άμεση επαφή μαζί της, ώστε να αποκόπτει την υπεριώδη ακτινοβολία και να επιτρέπει τον αερισμό της λάμπας για να αποφεύγεται η υπερθέρμανση.

- φθορισμού (*fluorescent*)

Οι λαμπτήρες φθορισμού εκπέμπουν επίσης υπεριώδη ακτινοβολία, αν και σε πολύ μικρότερο ποσοστό από το φυσικό φως και γι' αυτό χρειάζονται φίλτρα. Εξαιρούνται οι λαμπτήρες Philips 93 & 94 που εκπέμπουν λιγότερα από 75  $\mu\text{W}/\text{l}$ . Ο φθορισμός όπως έχουμε ήδη εξετάσει συμβαίνει με την απορρόφηση ακτινοβολίας και την επανεκπομπή της σε μεγαλύτερο μήκος κύματος. Σε αυτή την περίπτωση η υπεριώδης ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον υδράργυρο απορροφάται από τα στρώματα του φθορισμού και εκπέμπεται ξανά ως φως. Αν χρησιμοποιείται σε προθήκες, για την αποφυγή υπερθέρμανσης η λάμπα πρέπει να ξεχωρίζει από αυτή με τζάμι. Ο μηχανισμός ελέγχου μπορεί να βρίσκεται αλλού. Γενικά βγάζουν ψυχρό χρώμα και δεν αποδίδουν πάρα πολύ καλά τα χρώματα. Οι compact λαμπτήρες φθορισμού είναι μικροί, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και βγάζουν πιο ζεστό χρώμα, ενώ μπορούν να αντικαταστήσουν τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Μπορούν να αναδείξουν την υφή της επιφάνειας αν τοποθετηθούν πολύ κοντά σε αυτήν, ειδικά αυτοί που έχουν θερμοκρασία χρώματος 2.700 K, δηλ. ζεστό λευκό φως. Ορισμένοι λαμπτήρες φθορισμού που έχουν καλή χρωματική απόδοση είναι οι εξής:

Όνομασία	Θερμοκρασία χρώματος	Ra (>90) average Colour rendering	Rw (>80) worse colour rendering	UV if <75mW/l no filter required
Philips 94	ουδέτερο	95	86	43
Philips 93	θερμό	93	81	49
Matsushita FL 40S-N-EDL	ψυχρό	98	96	61
Philips 38	ουδέτερο	90	83	81
Thorn Kolor-rite	ουδέτερο	89	82	85
Wotan Maxilux 19 DL	ψυχρό	93	91	95
Sylvania Design White	ψυχρό	89	87	111
Sylvania cool white DL	ουδέτερο	89	83	127

Εικόνα 245. πηγή: Thomson, *The museum environment* (1994)



- μεταλλικών ιόντων (metal halide)

έχουν πολύ καλή χρωματική απόδοση, πράγμα που τις κάνει κατάλληλες για χρήση σε μουσεία και εκπέμπουν ελάχιστη θερμότητα, όμως γενικά έχουν μεγάλη ισχύ, άνω των 250 watt.

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει διάφορους τύπους λαμπτήρων και τον συντελεστή DF που τους συνοδεύει. Ο συντελεστής DF (Damage factor) φανερώνει την σχετική δυνατότητα που έχει η ακτινοβολία που εκπέμπεται από το λαμπτήρα να προκαλέσει φθορά σε κάποιο έκθεμα. Προφανώς τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υπεριώδη ακτινοβολία άρα και DF έχει το φυσικό φως.

Είδος φωτεινής πηγής	Damage Factor	Θερμοκρασία χρώματος	Δείκτης χρωματικής απόδοσης
Λαμπτήρας υψηλής πίεσης νατρίου	0.10	2500	85
Απλός λαμπτήρας πυράκτωσης	0.15	2800	100
Λαμπτήρας αλογόνου (κλειστός)	0.12	3000	100
Λαμπτήρας φθορισμού (93)	0.15	3000	>95
Λαμπτήρας φθορισμού (94)	0.18	3800	>95
Λαμπτήρας φθορισμού (95)	0.22	5300	>95
Λαμπτήρας φθορισμού (96)	0.34	6500	>95
Λαμπτήρας φθορισμού (83)	0.2	3000	85
Λαμπτήρας φθορισμού (84)	0.21	4000	85
Φυσικό φως αφού πρώτα «περάσει» από υαλοπίνακα πάχους 4mm.	<b>0.60</b>		

Εικόνα 246. πηγή: Τσαγκρασούλης, σημειώσεις μαθήματος Φωτισμού Π.Θ.



Όλα τα παραπάνω αριθμητικά μεγέθη αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για το σχεδιασμό όταν ενδιαφερόμαστε για τις απόλυτες τιμές του φωτισμού, όπως για παράδειγμα την ακριβή ποσότητα φωτισμού που προσπίπτει σε μια επιφάνεια εργασίας, μετρημένη σε lux. Ωστόσο τα μεγέθη αυτά από μόνα τους δεν μπορούν να βοηθήσουν το μελετητή ή το σχεδιαστή όταν ο φωτισμός καλείται να δημιουργήσει ή να ενισχύσει ένα συγκεκριμένο αισθητικό αποτέλεσμα όπως στην περίπτωση φωτισμού καταστημάτων, εστιατορίων και φυσικά μουσείων ή θεάτρου. Εκεί πρέπει να διερευνηθεί η σχέση και η αλληλεπίδραση ανάμεσα στον καθαρά λειτουργικό ρόλο του φωτισμού και στην υποκειμενική αίσθηση που επιδιώκουμε να πετύχουμε.

Οι πρώτοι ερευνητές σχετικά με την όραση πίστευαν πως η ικανότητα του ανθρώπου να ερμηνεύει το φωτισμό των αντικειμένων γύρω του οφείλεται σε μία μυστηριώδη διαδικασία μάθησης που λαμβάνει χώρα κατά την παιδική ηλικία. Το 1954 ο JM Waldram χρησιμοποίησε αυτή τη θεωρία για να δημιουργήσει μία νέα προσέγγιση σε ζητήματα φωτισμού, την οποία ονόμασε «σχεδιασμένη εμφάνιση». Αυτή η θεωρία αρχικά ήταν ένας τρόπος να βελτιωθεί η επικοινωνία και η συνεργασία ανάμεσα στον αρχιτέκτονα και το φωτιστή, ο οποίος καλούνταν να μεταφράσει σε αριθμητικές τιμές φωτισμού τη φαινομενική φωτεινότητα που ο αρχιτέκτονας επιθυμούσε να εφαρμόσει. Με αυτό τον τρόπο ο αρχιτέκτονας είχε μία μαθηματική φόρμουλα που πραγματοποιούσε την αίσθηση που ήθελε να έχει ο υπό μελέτη χώρος, ενώ ο φωτιστής σχεδίαζε το σύστημα φωτισμού που θα κάλυπτε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η σημασία αυτής της μεθόδου έγκειται στο γεγονός ότι ο φωτιστής έπρεπε πλέον να σκεφτεί την ολοκληρωμένη εμφάνιση του χώρου προκειμένου να ικανοποιήσει την αρχιτεκτονική ιδέα. Ωστόσο αυτή η μέθοδος δε λάμβανε υπ' όψιν τις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού κάτω από τις οποίες μπορούσαν να βρεθούν τα αντικείμενα στο χώρο υπό την επίδραση του συνεχώς μεταβλητού φυσικού φωτός με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σταθερότητα στην αντίληψη των χρωμάτων και της φωτεινότητας.

Το 1967 ο PA Jay σε συνεργασία με τον DC Coomber εφαρμόσανε μία πιο εύκολη μέθοδο, βασισμένη στη σχεδιασμένη εμφάνιση του Waldram και στους λόγους λαμπροτήτων. Αποφασίζοντας την επιθυμητή φωτεινότητα του χώρου και τη σχέση των λαμπροτήτων, ο φωτιστής μπορούσε να επιλέξει τον κατάλληλο συνδυασμό από φωτεινές πηγές που θα απέδιδαν το συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Όμως γρήγορα έγινε κατανοητό ότι ενώ μπορούσαν να επιλεγούν διαφορετικοί συνδυασμοί φωτιστικών που να επιφέρουν το ίδιο φωτιστικό αποτέλεσμα, κάθε ένας συνδυασμός δημιουργούσε διαφορετικά μοτίβα φωτεινότητας, τα οποία όλα μπορούσαν να είναι αποδεκτά για τυπικούς χώρους όπως ένα γραφείο ή μία μεγάλη αίθουσα διδασκαλίας.

Αυτή η διαπίστωση έθεσε αμφιβολίες στη θεωρία που πίστευαν ως τότε, ότι δηλαδή η φωτεινότητα ορίζει την εμφάνιση και την αίσθηση του χώρου, παρατηρώντας ταυτόχρονα ότι οι πιο έντονες σκηνές φωτισμού είναι αποτέλεσμα μεγάλων αντιθέσεων λαμπροτήτων. Το ερώτημα που κυριαρχεί είναι κατά πόσο αυτή η ιδέα μπορεί να εκφραστεί ως αριθμητική σχέση, εφόσον οι σχεδιαστικοί στόχοι εκφράζονται καλύτερα μέσα από την έμφαση, την οξύτητα, τη συνοχή και την διαβάθμιση του φωτισμού και όχι από τη φυσική και τα μαθηματικά.

Μία εναλλακτική προσέγγιση που έχει ως στόχο να ενσωματώσει το διττό χαρακτήρα του φωτισμού διακρίνει δύο είδη φωτισμού.

Πρώτον έχουμε τα «λειτουργικά» συστήματα όπου κύρια λειτουργία του φωτισμού είναι να εξασφαλίζει στους χρήστες τη δυνατότητα να βλέπουν και να αντιλαμβάνονται το χώρο εύκολα, γρήγορα, με ακρίβεια και χωρίς να καταβάλουν προσπάθεια. Δεύτερον έχουμε τα «υποκειμενικά» συστήματα και εγκαταστάσεις, όπου ζητήματα υποκειμενικής αίσθησης και γενικότερης αισθητικής του χώρου έχουν την ίδια σημασία. Βέβαια αυτό δε σημαίνει ότι στις λειτουργικές εγκαταστάσεις δεν τίθενται ζητήματα αισθητικής του φωτισμού, αλλά ότι είναι δεύτερης σημασίας. Αντίστοιχα στις εγκαταστάσεις όπου προτεραιότητα είναι η υποκειμενική αίσθηση και αισθητική, τα αμιγώς λειτουργικά ζητήματα για την ακρίβεια της όρασης και την ασφάλεια στο χώρο εξακολουθούν να είναι σημαντικά αλλά ακολουθούν μία διαφορετική λογική και προσέγγιση.

Πιο αναλυτικά παρατηρούνται σε γενικές γραμμές οι ακόλουθες διαφορές μεταξύ των δύο συστημάτων:

Στις λειτουργικές εγκαταστάσεις συνηθίζεται ο χώρος να φωτίζεται ομοιόμορφα, αντίθετα με τις υποκειμενικές όπου δίνεται έμφαση σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου στα οποία συγκεντρώνεται μεγαλύτερη ποσότητα φωτισμού. Στις λειτουργικές εγκαταστάσεις τα φωτιστικά είναι απλά σε εμφάνιση και τοποθετούνται έτσι ώστε να μην αποσπούν την προσοχή, ενώ στις υποκειμενικές εγκαταστάσεις τα φωτιστικά μπορεί να αποτελούν κυρίαρχα ή διακοσμητικά στοιχεία του χώρου, με πιο κοινό παράδειγμα τους κρυστάλλινους πολυέλαιους. Επίσης τα ζητήματα ταξινόμησης και συνοχής του φωτισμού που στις λειτουργικές εγκαταστάσεις υπάρχουν εξ ορισμού, αποκτούν διαφορετική σημασία και υπόσταση στις υποκειμενικές εγκαταστάσεις όπου δημιουργείται ένα παιχνίδι με τις διαφορετικές λαμπρότητες και τη διαφορετική έμφαση σε κάθε αντικείμενο του χώρου ή σε κάθε διαφορετική ζώνη.

Το σημαντικό είναι ότι σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να υπάρχει επαρκής φωτισμός για να είναι εύκολα ορατά και αντιληπτά τα αντικείμενα που πρέπει να βλέπει ο χρήστης, ενώ πρέπει να δίνεται έμφαση σε συγκεκριμένα στοιχεία που έχουν σημασία στο χώρο. Επίσης ο φωτισμός πρέπει να βοηθάει την εύκολη κυκλοφορία με βάση την οργάνωση της κάτοψης και τέλος να υπάρχει συνάφεια και μία ολοκληρωμένη προσέγγιση στο φωτισμό μεταξύ των διαφορετικών στρατηγικών που μπορεί να συνυπάρχουν.

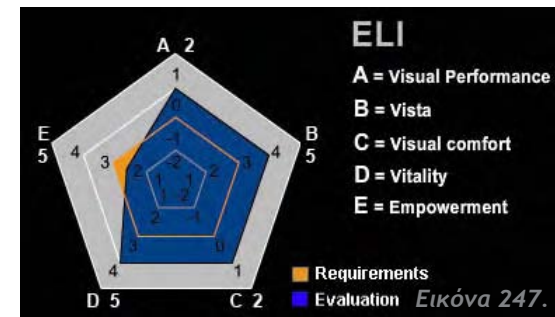
Η εταιρεία Zumtobel προκειμένου να κάνει πιο εύκολα αντιληπτή την αλληλεπίδραση και τη διαφορετικότητα των διαφόρων συνιστωσών του φωτισμού με στόχο να παρέχει ισορροπημένες λύσεις φωτισμού που να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις του χρήστη, έχει αναπτύξει δύο ερωτηματολόγια (ELI) με βάση τα οποία ο μελετητής μπορεί να εκτιμήσει και να αξιολογήσει την εκάστοτε λύση φωτισμού, λαμβάνοντας υπόψη την αίσθηση του χρήστη. Το πρώτο ερωτηματολόγιο αφορά εφαρμογές όπου κύριος στόχος του φωτισμού είναι να εξασφαλίσει τις ιδανικές συνθήκες για εργασία, ενώ το δεύτερο ερωτηματολόγιο έχει να κάνει με περιπτώσεις όπου στόχος είναι η πνευματική ικανοποίηση του χρήστη ενισχύοντας την αίσθηση της περιπέτειας, την εξερεύνησης, την έκπληξης και της ευχαρίστησης στο χώρο. Και στα δύο ερωτηματολόγια τα κριτήρια είναι η οπτική αντίληψη, η αξιολόγηση της ταυτότητας του φωτισμού, η οπτική άνεση, η δυνατότητα του φωτισμού να εγείρει συναισθήματα στο χρήστη και η διαχείριση του φωτισμού.

Εικόνα 247. το γράφημα για την αξιολόγηση του φωτισμού ELI - πηγή: Zumtobel

Εικόνα 248. φωτισμός σε γραφείο που καλύπτει μόνο τις απαιτήσεις για φως στην επιφάνεια εργασίας

Εικόνα 249. φωτισμός στο ίδιο γραφείο μόνο για αισθητική ικανοποίηση

Εικόνα 250. συνδυασμός φωτισμού που καλύπτει τις απαιτήσεις για φως στην επιφάνεια εργασίας τονίζοντας παράλληλα ορισμένες περιοχές ξεκουράζοντας και ευχαριστώντας το χρήστη - πηγή εικόνων: [www.zumtobel/humanenergybalance](http://www.zumtobel/humanenergybalance)





Όλες οι μορφές ζωής έλκονται από το φως και ο άνθρωπος δεν αποτελεί εξαίρεση. Ο φωτοτροπισμός είναι η διαδικασία κατά την οποία η προσοχή αποσπάται από το πιο φωτεινό σημείο του οπτικού πεδίου και σε αυτό το φαινόμενο βασίζεται η θεωρία της ανάδειξης των αντικειμένων. Η επιτυχία του συστήματος φωτισμού ενός μουσείου εξαρτάται από την ανάδειξη των εκθεμάτων μέσα στο χώρο. Αυτό γενικά σημαίνει την επίτευξη ισορροπίας ανάμεσα στο γενικό φωτισμό (φωτισμός υποβάθρου) και στον κατευθυντικό φωτισμό που προσπίπτει πάνω στο έκθεμα. Αυτή η αντίθεση (contrast) είναι που ορίζει το βαθμό ανάδειξης των αντικειμένων. Αυτό φυσικά γίνεται λαμβάνοντας παράλληλα υπ' όψιν τις λαμπρότητες και τα χρώματα εκθέματος και υποβάθρου καθώς και το σχήμα και την υφή των εκθεμάτων. Ο διάχυτος φωτισμός ενώ μπορεί είναι αρκετός για να δούμε ένα έργο, δεν μπορεί να μας αποκαλύψει τη μορφή ή την υφή του έργου λόγω της έλλειψης σκιών. Η διαβάθμιση της φωτεινότητας πάνω στην επιφάνεια ενός αντικειμένου αναδεικνύει τον τρισδιάστατο χαρακτήρα της, ενώ η υφή μπορεί να είναι αναδειχθεί ή να αποδυναμωθεί με τη χρήση κατευθυντικού φωτός.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος των λαμπροτήτων ανάμεσα στο έκθεμα και στο υπόβαθρο, τόσο πιο πολύ ξεχωρίζει το αντικείμενο. Λαμβάνοντας όμως υπ' όψιν τα γενικότερα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού, την αδυναμία του ματιού μας να προσαρμοστεί αμέσως σε διαφορετικά επίπεδα φωτισμού, καθώς και την αποφυγή θάμβωσης, ο λόγος των λαμπροτήτων ανάμεσα στο έκθεμα και στο υπόβαθρο πρέπει να είναι 3:1. Επίσης γνωρίζοντας ότι η λαμπρότητα είναι ανάλογη όχι μόνο με το φωτισμό που δέχεται μία επιφάνεια αλλά και με την ανακλαστικότητα της, μπορούμε εύκολα να αλλάξουμε το λόγο λαμπροτήτων εκθέματος - υποβάθρου (άρα να διαφοροποιήσουμε την ανάδειξη), απλώς αλλάζοντας την ανακλαστικότητα του υποβάθρου.

Αν το υπόβαθρο είναι πολύ φωτεινό ή πολύ σκοτεινό σε σχέση με το έκθεμα τότε επηρεάζεται η ικανότητα του ματιού να παρατηρεί λεπτομέρειες. Συνήθως το σκοτεινό υπόβαθρο προτιμάται όταν τα εκθέματα παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία, άρα φωτίζονται με ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα φωτισμού και γι' αυτό το λόγο το υπόβαθρο δεν πρέπει να είναι φωτεινό ώστε να μη δημιουργούνται μεγάλες διαφορές λαμπροτήτων. Σε εκθέσεις μοντέρνας τέχνης υπάρχει η τάση τα έργα να τοποθετούνται σε λευκό υπόβαθρο με μεγάλη ανακλαστικότητα που μπορεί να υπερβαίνει και το 80%.

Αναλύοντας τις διαφορά λαμπροτήτων αριθμητικά, διαφορά 1,5:1 είναι η ελάχιστη που γίνεται αντιληπτή, διαφορά 3:1 είναι άμεσα ορατή, διαφορά 10:1 είναι δυνατή προκαλώντας έντονες σκιές, ενώ τέλος διαφορά 40:1 δημιουργεί μεγάλη έμφαση στο έκθεμα προσδίδοντας δραματικό χαρακτήρα. Η μέγιστη δυνατή διαφορά λαμπροτήτων σύμφωνα με τον Peter Jay (maximum attainable contrast, Jay, 1971) μπορεί να επιτευχθεί κατευθύνοντας όλο το φωτισμό προς το έκθεμα, αφήνοντας το υπόβαθρο να φωτίζεται μόνο από το φως που ανακλάται από το έκθεμα. Όσο το φωτιζόμενο αντικείμενο μεγαλώνει σε μέγεθος, τόσο περισσότερο φως ανακλάται προς το περιβάλλον με αποτέλεσμα να απαιτείται ολοένα μικρότερη ποσότητα φωτισμού για να συμπληρώσει τις απαιτήσεις για ασφαλή κυκλοφορία στο χώρο.

Εικόνα 251. (κάτω) διαφορετικοί λόγοι λαμπροτήτων μεταξύ εκθεμάτων και υποβάθρου - πηγή: Ergo



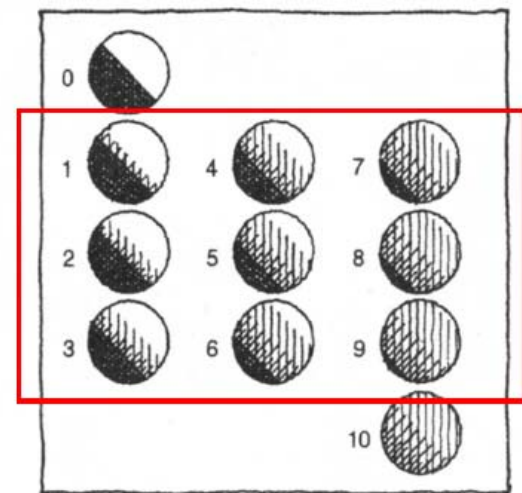
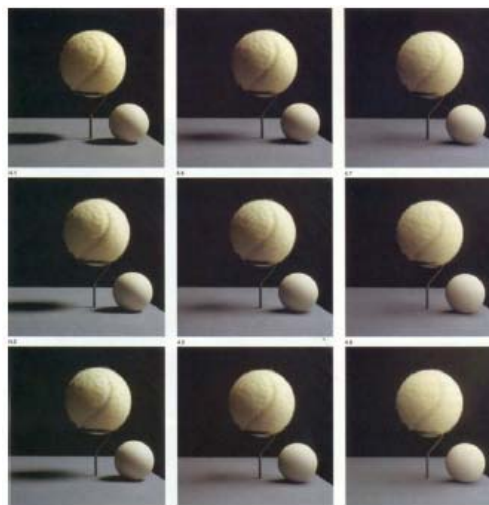
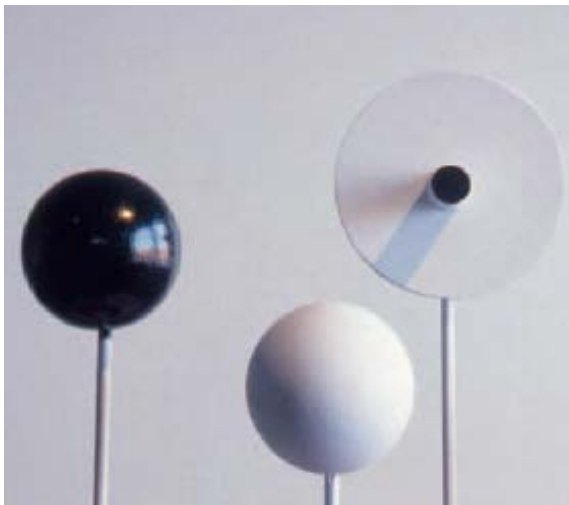
Το φως από μόνο του δεν έχει ορατή επίδραση σε ένα χώρο εκτός κι αν διασκορπιστεί από μόρια καπνού ή σκόνης, οπότε αναφερόμαστε στο φως συνυφασμένο με την επιφάνεια στην οποία προσπίπτει. Η κατευθυντική φύση του φωτός έχει σχέση με το πώς ο φωτισμός επιδρά στην εμφάνιση των τρισδιάστατων αντικειμένων και στην τελική εικόνα που έχει ο παρατηρητής.

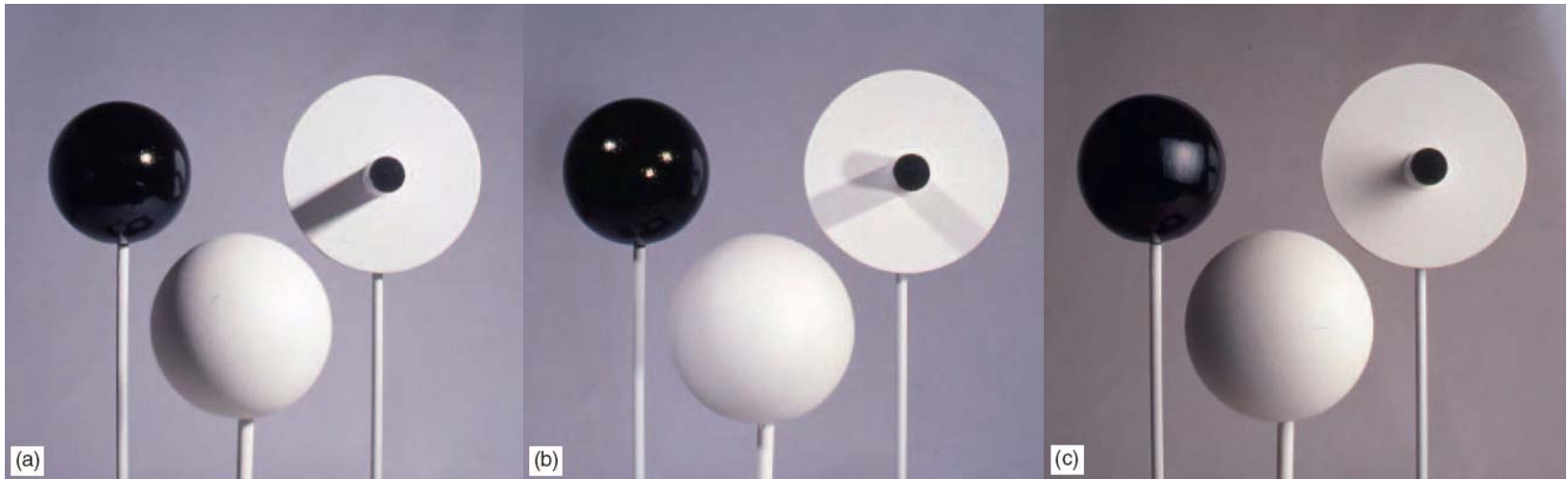
Ο Christopher Cuttle έκανε ένα πείραμα στο οποίο εξετάζονται τα τρία μοτίβα που δημιουργεί ο φωτισμός, το οποίο έχει ως αφετηρία τη θεωρία του ποιοτικού σχεδιασμού που εισήγαγε ο Richard Kelly. Για τη μελέτη του εγχειρήματος χρησιμοποίησε τρία διαφορετικά αντικείμενα - ένα δίσκο με ένα κύλινδρο στο κέντρο του, μία μαύρη γυαλιστερή σφαίρα και μία λευκή ματ σφαίρα. Τα αντικείμενα είναι πολύ μικρά σε σχέση με το φωτιστικό πεδίο στο οποίο βρίσκονται και γι' αυτό θεωρείται ότι φωτίζονται με τον ίδιο τρόπο. Ωστόσο καθένα από αυτά αλληλεπιδρά με το φως διαφορετικά. Συγκεκριμένα πάνω στο δίσκο εμφανίζεται ένα αυστηρά καθορισμένο μοτίβο σκιάς από τον κύλινδρο, στη μαύρη σφαίρα δημιουργείται ένα φωτεινό μοτίβο λόγω ανάκλασης της φωτεινής πηγής και τέλος στη λευκή σφαίρα δημιουργείται ένα διαφορετικό μοτίβο σκίασης.

Αν κοιτάξουμε τα αντικείμενα πιο προσεκτικά, βλέπουμε ότι ο κύλινδρος στο δίσκο σχηματίζει μία αυστηρή σκιά, ενώ λίγο πιο πάνω μπορούμε να δούμε μία πολύ πιο μαλακή σκιά. Στη μαύρη σφαίρα μπορούμε να δούμε την αντανάκλαση μιας μεγάλης πηγής φωτός και πιο πάνω την αντανάκλαση μιας πολύ μικρότερης και πιο έντονης πηγής. Ωστόσο στη λευκή ματ σφαίρα η κατανομή του φωτός που είναι ορατό στην επιφάνειά της υποδηλώνει την ύπαρξη φωτός από μία μόνο κατεύθυνση. Το κύριο χαρακτηριστικό του φωτός για την παραγωγή σκιάς και φωτεινού μοτίβου είναι η γωνία της δέσμης της φωτεινής πηγής, δηλαδή το πόσο μεγάλη είναι η πηγή σε σχέση με την απόστασή της από το αντικείμενο που φωτίζει. Επίσης όσον αφορά το ίδιο το αντικείμενο σημαντικό ρόλο παίζει η στιλπνότητα και η ανακλαστικότητα της επιφανείας του.

Εικόνα 252. (αριστερά) τα τρία αντικείμενα στο φωτιστικό πεδίο, στη μελέτη του Cuttle για τα μοτίβα που δημιουργεί το φως - πηγή: Cuttle, *Lighting by design* (2003)

Εικόνα 253. η σχέση της «ροής του φωτός» του Cuttle με την «κλίμακα του φωτός» που διατυπώθηκε από τον Sophus Frandsen στο άρθρο *Scale of light*, *Architectural Lighting Review*, 1987/3. Η κλίμακα της σκιάς είναι η εξής: 0: πολύ σκληρή σκιά / 1-3: σκληρή - δυνατή σκιά / 4-6: μέτρια σκιά / 7-9: μαλακή - αδύνατη σκιά / 10: πλήρης διάχυση





Εικόνα 254. τα τρία αντικείμενα σε τρεις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού στη μελέτη του Cuttle για τα μοτίβα του φωτός - πηγή: Cuttle, *Lighting by design* (2003)

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται τα τρία αντικείμενα υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Στην πρώτη περίπτωση η πηγή φωτός είναι ένα κατευθυντικό spot υψηλής έντασης και τα τρία φωτιστικά μοτίβα εμφανίζονται έντονα και στα τρία αντικείμενα. Στο λευκό δίσκο εμφανίζεται ένα συμπαγές μοτίβο σκιάς από τον κύλινδρο, στη μαύρη σφαίρα προβάλλεται ένα έντονο φωτεινό μοτίβο που δείχνει την πηγή φωτισμού να λάμπει και τέλος στη λευκή σφαίρα τονίζεται έντονα η ροή του φωτός και το μοτίβο σκίασης παρουσιάζει μεγάλη αντίθεση. Ο φωτισμός είναι έντονα κατευθυντικός και μονοσήμαντος και χαρακτηριστικό του είναι η οξύτητα - ευκρίνεια και η ροή.

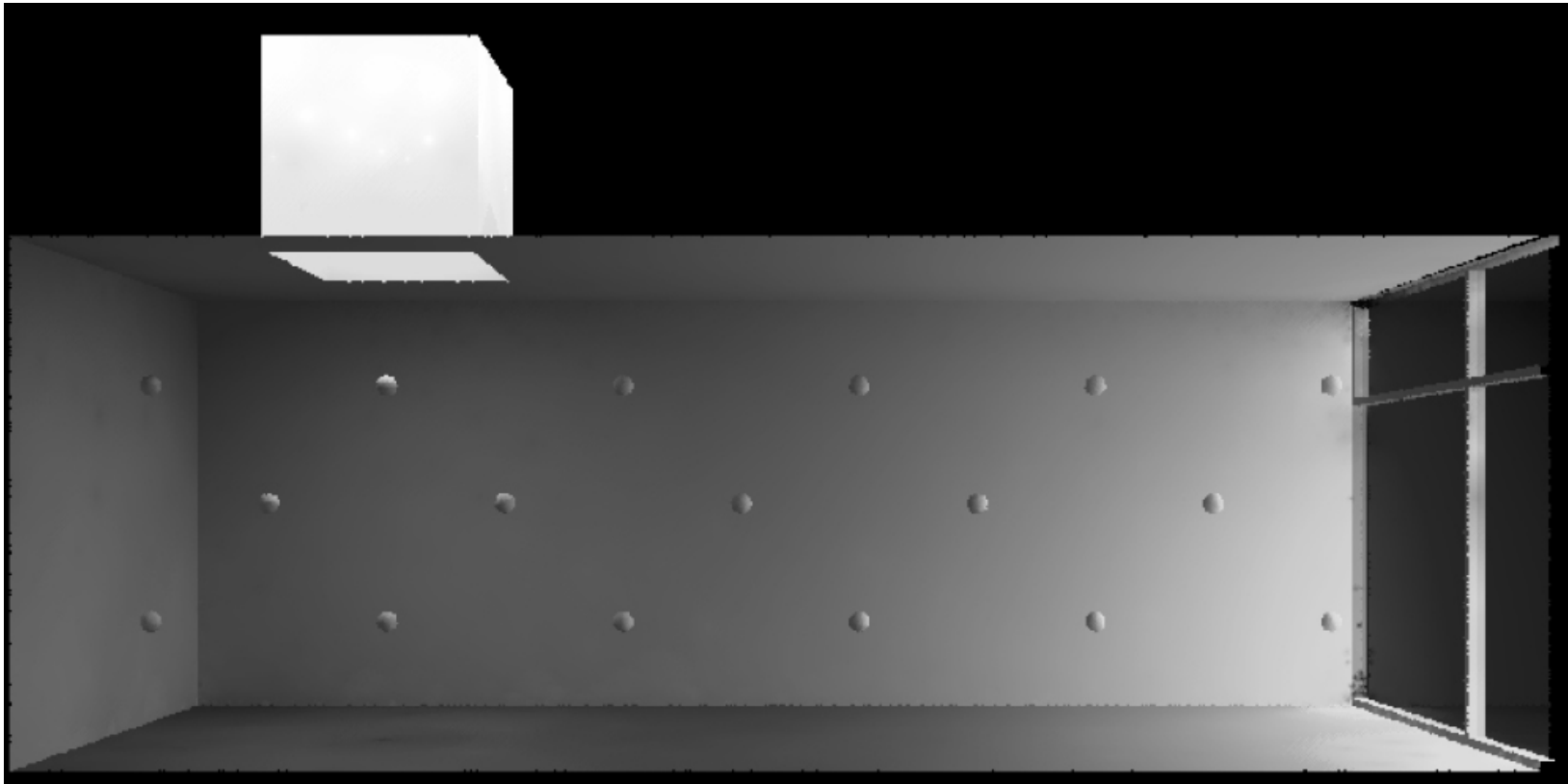
Στη δεύτερη περίπτωση ο φωτισμός γίνεται από περισσότερα spot που τοποθετούνται τυχαία γύρω από τα αντικείμενα. Το αποτέλεσμα είναι στο δίσκο να δημιουργείται πιο πολύπλοκη σκίαση από τον κύλινδρο. Εμφανίζονται τρεις σκιές, όσα και τα spot, οι οποίες έχουν το στοιχείο της κατεύθυνσης αλλά είναι πιο μαλακές σε σχέση με την πρώτη περίπτωση. Στη μαύρη σφαίρα η ένταση της φωτεινότητας του μοτίβου δεν αλλάζει και εμφανίζονται όλες οι πηγές πάνω στην επιφάνειά της. Στη λευκή σφαίρα παρατηρούμε μεγάλη διαφορά στο μοτίβο σκίασης που δημιουργείται, όπου χάνεται η κατευθυντικότητα του φωτός και η σφαίρα εμφανίζεται πιο ομοιόμορφη.

Τέλος στην τρίτη περίπτωση η πηγή φωτισμού είναι μία όπως και στην περίπτωση α, αλλά αυτή τη φορά διαχέει το φως το οποίο πέφτει πάνω στα αντικείμενα με μεγάλη γωνία δέσμης. Έτσι το αποτέλεσμα είναι να μαλακώνει πολύ η σκιά του κυλίνδρου πάνω στο δίσκο, τόσο που σχεδόν εξαφανίζεται. Επίσης στη μαύρη σφαίρα το φωτεινό μοτίβο έχει χάσει την οξύτητα και τη λάμψη του. Αντίθετα στη λευκή σφαίρα το μοτίβο σκίασης έχει αποκτήσει ξανά τη ροή που είχε στην πρώτη περίπτωση αν και η διαβάθμιση της σκίασης είναι πιο μαλακιά.

Τα συμπεράσματα από τις παραπάνω παρατηρήσεις και η κατανόηση της διαφορετικότητας ανάμεσα στη ροή του φωτός και την οξύτητα του είναι απαραίτητα για την κατανόηση και μελέτη των χωρικών χαρακτηριστικών του φωτός, οδηγώντας σε καλύτερο σχεδιασμό του φωτισμού.

Με βάση τη μέθοδο του Cuttle δημιουργήθηκε στο Victoria University of Wellington ένα ψηφιακό εργαλείο για τη μέτρηση της ροής του φωτός, που μπορεί με απλό τρόπο να αποδώσει οπτικά τα χωρικά χαρακτηριστικά του συστήματος φωτισμού που μελετάται κάθε φορά. Το «όργανο» που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από ένα πλέγμα από λευκές ματ σφαίρες, το οποίο τοποθετείται κατακόρυφα σε μία προοπτική τομή του χώρου που μελετάται. Η ανάγνωση των χαρακτηριστικών του φωτισμού μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα απλώς κοιτάζοντας τα μοτίβα σκίασης που δημιουργούνται στις λευκές σφαίρες.

*Εικόνα 255. ένα τυπικό rendering σε ένα χώρο με δύο ανοίγματα, όπου εφαρμόζεται το ψηφιακό εργαλείο για τη μέτρηση της ροής του φωτός και των μοτίβων σκίασης που δημιουργούνται - πηγή: Madsen & Donn, Experiments with a digital light-flow-meter in daylight-art museum buildings*





Εικόνα 256.

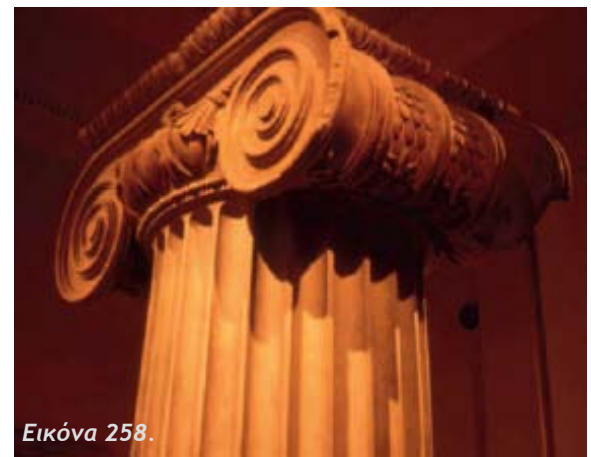


Εικόνα 257.

Εικόνα 256. κολώνα επενδεδυμένη με γυάλινο μωσαϊκό. Το κατευθυντικό spot δημιουργεί δίνει έμφαση στο έκθεμα αυξάνοντας την οξύτητα και τη λαμπρότητα τμημάτων του μωσαϊκού. Δημιουργός Louis Comfort Tiffany, New York Metropolitan museum of art

Εικόνα 257. κολώνα από αρχαίο Ναό του 4ου αιώνα, όπου το φως δημιουργεί πυκνή και καθαρή σκιά, τονίζοντας τις γραμμώσεις της. Το έργο σχεδιάστηκε εξ αρχής με τρόπο που να αλληλεπιδρά με το άμεσο φυσικό φως μέσω της εναλλαγής φωτός - σκιάς.

Metropolitan museum of art, New York  
Εικόνα 258. η ροή του φωτός δημιουργεί ένα μοτίβο σκίασης που αναδεικνύει τη μορφή στο άγαλμα της Αφροδίτης της Μήλου, στο Μουσείο του Λούβρου - πηγή εικόνων: Cuttle, lighting by design (2003)



Εικόνα 258.



Οι βασικές τεχνικές φωτισμού ανάδειξης παρουσιάζονται παρακάτω:

- φωτισμός περιγραφής σιλουέτας

το περίγραμμα ενός αντικειμένου εμφανίζεται σκοτεινό έναντι ενός φωτεινότερου φόντου, αν φωτιστεί από πίσω το αντικείμενο ή αν φωτιστεί το φόντο. Χρησιμοποιούνται ευρείες δέσμες  $60^\circ$  και πρέπει να αποφευχθεί η θάμβωση. Λόγω πολύ μεγάλης διαφοράς λαμπροτήτων οι λεπτομέρειες του αντικειμένου θα χαθούν, γι' αυτό πρέπει να εφαρμόζεται σε ιδιαίτερες περιπτώσεις.

- δημιουργία φωτοστέφανου

μια δέσμη φωτός με κατεύθυνση από πάνω και πίσω από το έκθεμα, φωτίζοντας προς την πλευρά του θεατή δημιουργεί φωτεινές άκρες. Πρέπει να εξασφαλίζεται η αποφυγή θάμβωσης από τις πηγές φωτισμού.

- δημιουργία λάμπσεων

μικρά φωτεινά σημεία, όταν ανακλώνται από γυαλιστερές επιφάνειες, αναδεικνύουν τη φόρμα

- τονισμός τρισδιάστατης φόρμας

δέσμη φωτός υπό  $5^\circ$  μέχρι  $45^\circ$  από την κατακόρυφο και προς την κύρια κατεύθυνση δέσμης, με στενή δέσμη συνήθως  $10^\circ$  δημιουργεί μεγάλες διαφορές φωτεινότητας σε όλο το πλάτος της επιφάνειας ενός τρισδιάστατου αντικειμένου

- τονισμός υφής

μια δέσμη φωτός από τα πλάγια αναδεικνύει το ανάγλυφο και την τραχύτητα της επιφάνειας

- ομοιόμορφος φωτισμός

μια δέσμη φωτός κοντά στην κύρια κατεύθυνση θέασης ή μια μεγάλη πηγή διάχυτου φωτισμού μειώνει την αντίληψη της φόρμας, έτσι ώστε επιμέρους χαρακτηριστικά όπως η υφή και το χρώμα της επιφάνειας να μην αναδεικνύονται

- φωτισμός από ασυνήθιστες κατευθύνσεις

για παράδειγμα μια δέσμη φωτός με κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω αναδεικνύει τελείως διαφορετικά στοιχεία ενός αντικειμένου από αυτά που τονίζονται συνήθως από το φυσικό φωτισμό που έχει αντίθετη κατεύθυνση. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι δραματικό.

- μετάδοση φωτός

ο φωτισμός μέσω διαφανών υλικών αναδεικνύει τη φόρμα αντικειμένων π.χ. από κρύσταλλο

- δημιουργία σκιάσεων

η φόρμα των αντικειμένων μπορεί να αναδειχθεί και να ενταθεί από σκιές που δημιουργούνται σε άλλα αντικείμενα ή στο φόντο

- εμφανείς φωτεινές πηγές

οι ίδιοι οι λαμπτήρες αποτελούν μέρος της έκθεσης



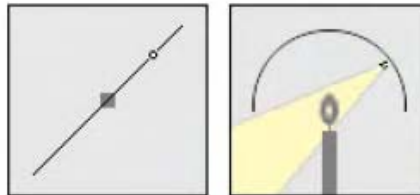
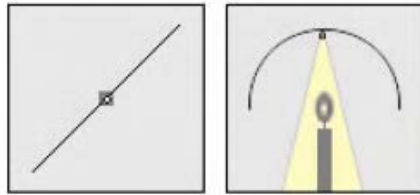
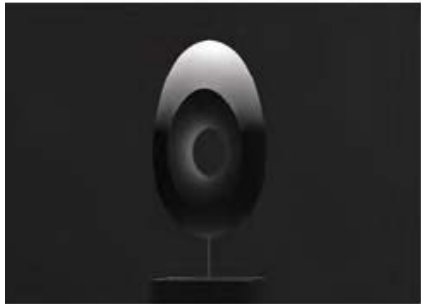
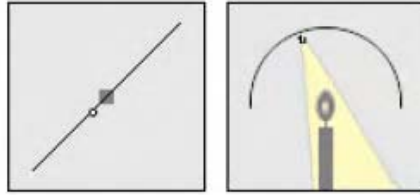
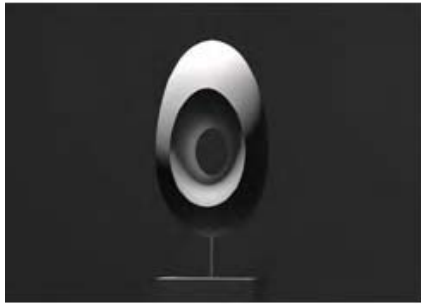
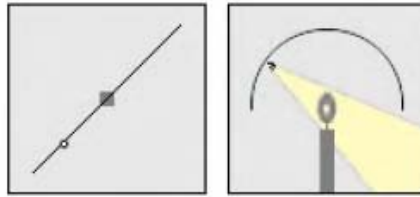
εικόνα 259.



εικόνα 260.



εικόνα 261.



εικόνα 262.

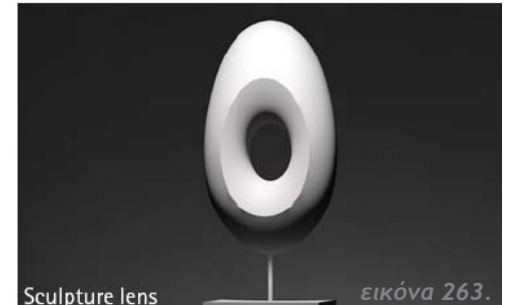
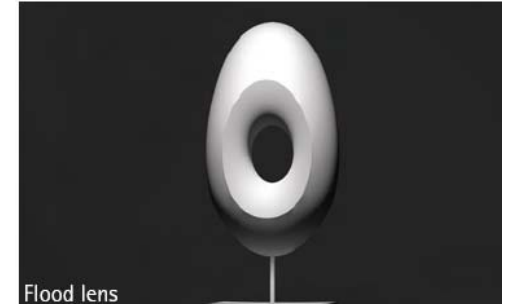
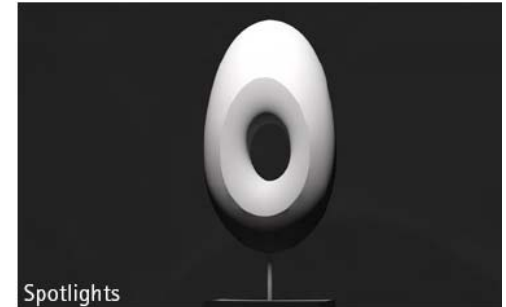
Εικόνα 259. «Reflections in stone», Αιγυπτιακό μουσείο, Τορίνο, σχεδιασμός φωτισμού Dante Ferretti - πηγή: iGuzzini

Εικόνα 260. χαμηλά επίπεδα γενικού φωτισμού και χρήση πολλών spot κατευθυνόμενα στα εκθέματα, Metropolitan museum of art, New York - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)

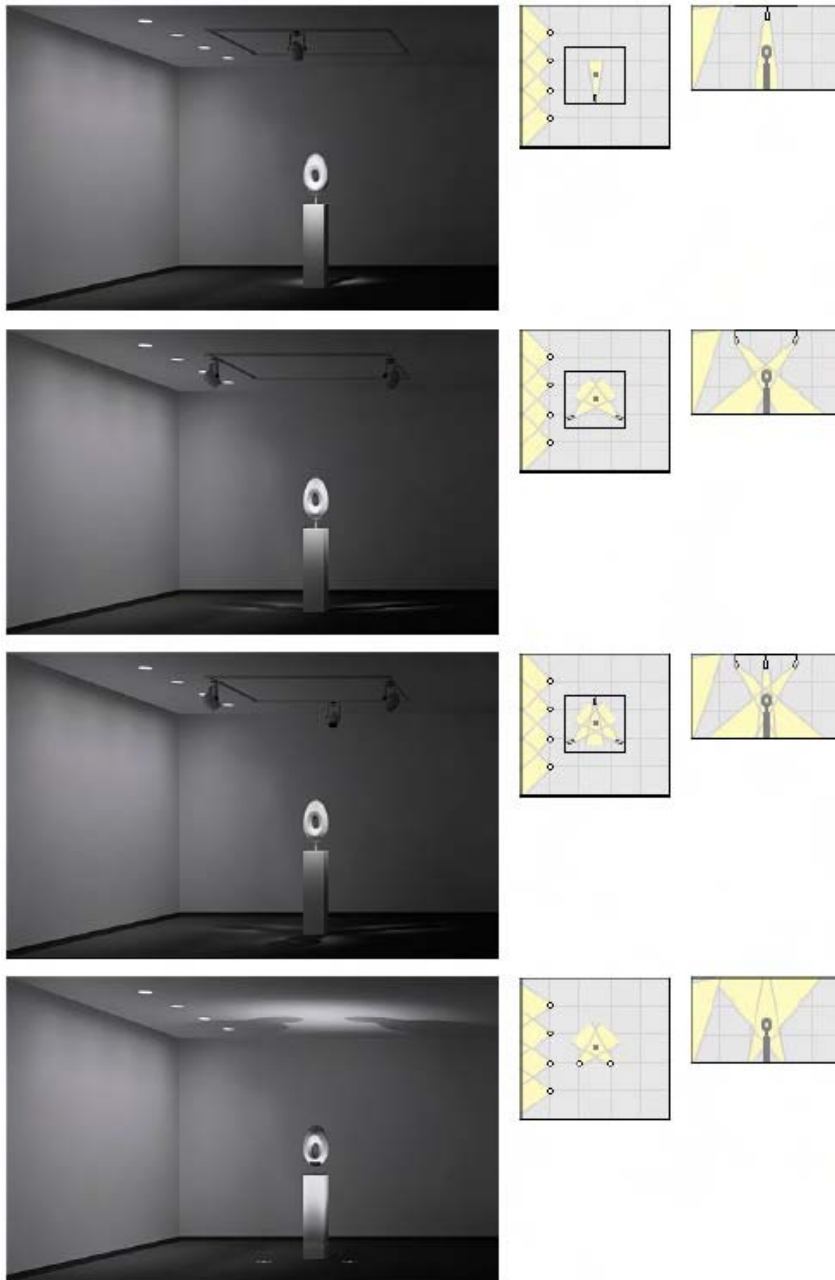
Εικόνα 261. δημιουργία πολλαπλών σκιάσεων, National gallery of art, Washington - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)

Εικόνα 262. φωτισμός του ίδιου αντικειμένου με διαφορετική κατεύθυνση της φωτεινής δέσμης - πηγή: Ergo

Εικόνα 263. φωτισμός του ίδιου αντικειμένου με διαφορετική φωτεινή δέσμη - πηγή: Ergo

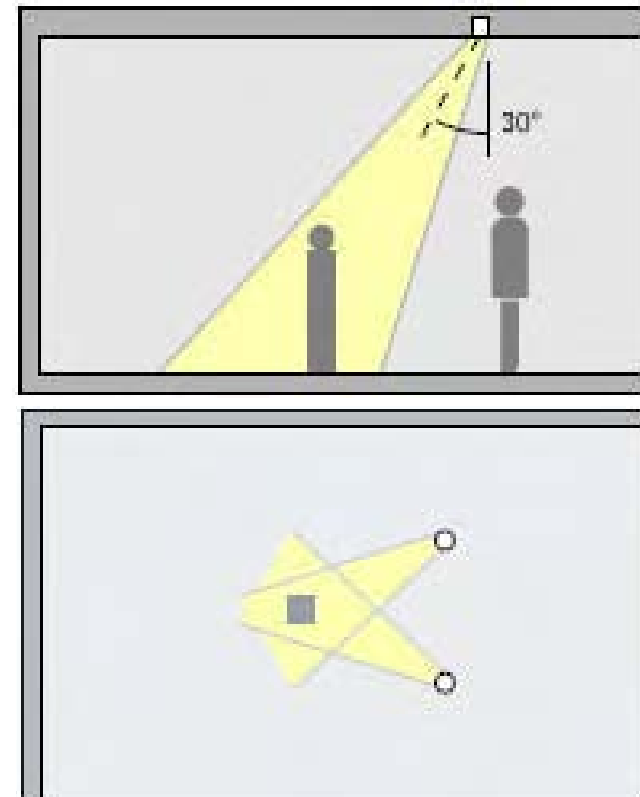


εικόνα 263.



Εικόνα 264. (αριστερά) φωτισμός με spot τρισδιάστατων αντικειμένων ελεύθερων στο χώρο, με ίδιο υπόβαθρο - πηγή: Erco

Εικόνα 265. (κάτω) ο γενικός κανόνας της δέσμης 30° για την αποφυγή θάμβωσης - πηγή: Erco





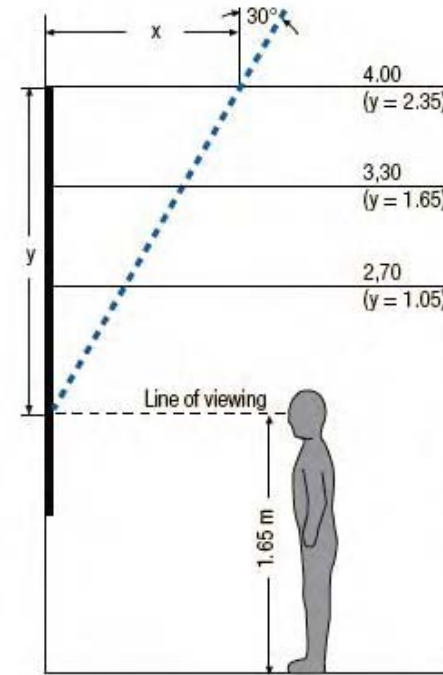
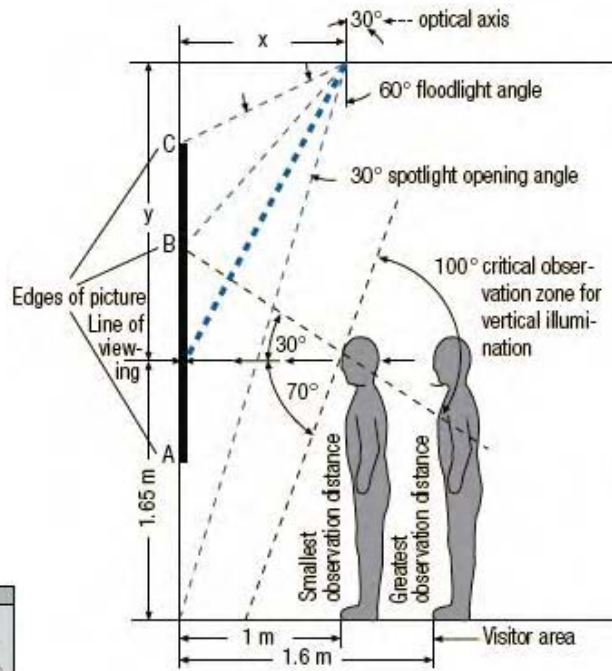
Εικόνα 266. τρεις φωτιστικές εκδοχές του Σάτυρου που χορεύει - πηγή: iGuzzini

Για την ανάδειξη των αντικειμένων χρησιμοποιείται συχνά κατευθυνόμενη φωτεινή δέσμη, η οποία σε ένα γενικό κανόνα σχηματίζει με την κατακόρυφο γωνία περίπου  $30^\circ$ . Ανάλογα με το είδος του εκθέματος (τρισιδιάστατο αντικείμενο ή πίνακας), του μεγέθους του και του γενικότερου φωτιστικού concept η δέσμη μπορεί να κατευθύνεται σε περισσότερα από ένα εκθέματα (φωτίζοντας ταυτόχρονα το υπόβαθρο και δημιουργώντας μικρή αντίθεση και ενιαίο contrast στον τοίχο), ή μπορεί να χρησιμοποιηθούν πολλές δέσμες. Προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε να μην αποκρύπτονται λεπτομέρειες του έργου από σκληρές σκιές ή αντίθετα να χάνονται τα εκθέματα στο υπόβαθρο, ούτε και να δημιουργούνται ανεπιθύμητες σκιές που υπερκαλύπτουν τα διπλανά εκθέματα, καθώς και να μη δημιουργείται θάμβωση από ανάκλαση των πηγών φωτισμού πάνω στα εκθέματα. Βέβαια αυτός είναι γενικός κανόνας και δε σημαίνει ότι δεν μπορεί να υιοθετηθεί άλλη στρατηγική που να βασίζεται π.χ. στο υψηλό contrast. Αυτό εξαρτάται κάθε φορά από το είδος και το περιεχόμενο των εκθεμάτων, καθώς και το βαθμό ενσωμάτωσης ή ανάδειξης της έκθεσης μέσα στο χώρο.

Γενικά για το φωτισμό ενός πίνακα μεσαίου μεγέθους ένα φωτιστικό είναι αρκετό. Για μεγαλύτερα μεγέθη ο φωτισμός πρέπει να αυξηθεί, ενώ για το φωτισμό τρισδιάστατων αντικειμένων χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερες πηγές φωτός με διαφορετική κατεύθυνση και εύρος της φωτεινής δέσμης. Για ύψη γύρω στα 3 μέτρα χρησιμοποιούνται δέσμες φωτός  $10^\circ - 60^\circ$ , ενώ για μεγαλύτερα ύψη  $10^\circ - 38^\circ$ . Για να εξομαλυνθούν τυχόν έντονες σκιές του κύριου φωτισμού και να γίνει πιο ομοιόμορφο το αποτέλεσμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικός φωτισμός με στενές ή ακόμα και ευρείες δέσμες  $24 - 38^\circ$ .

Η ανάδειξη με χρώμα στις επιφάνειες του υποβάθρου ή στο φωτισμό θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην αλλοιώνεται η

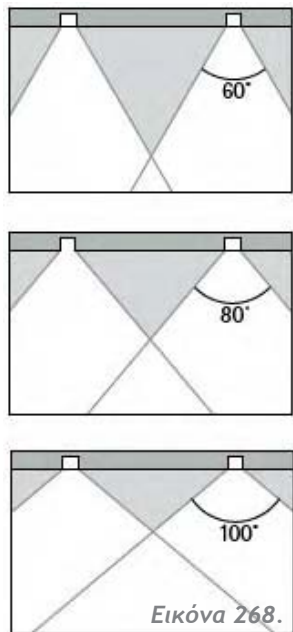
εμφάνιση των εκθεμάτων και να μη δημιουργούνται λανθασμένες εντυπώσεις στον παρατηρητή, καθώς στα περισσότερα είδη εκθεμάτων και ιδιαίτερα στους πίνακες ζωγραφικής θέλουμε άριστη απόδοση των χρωμάτων.



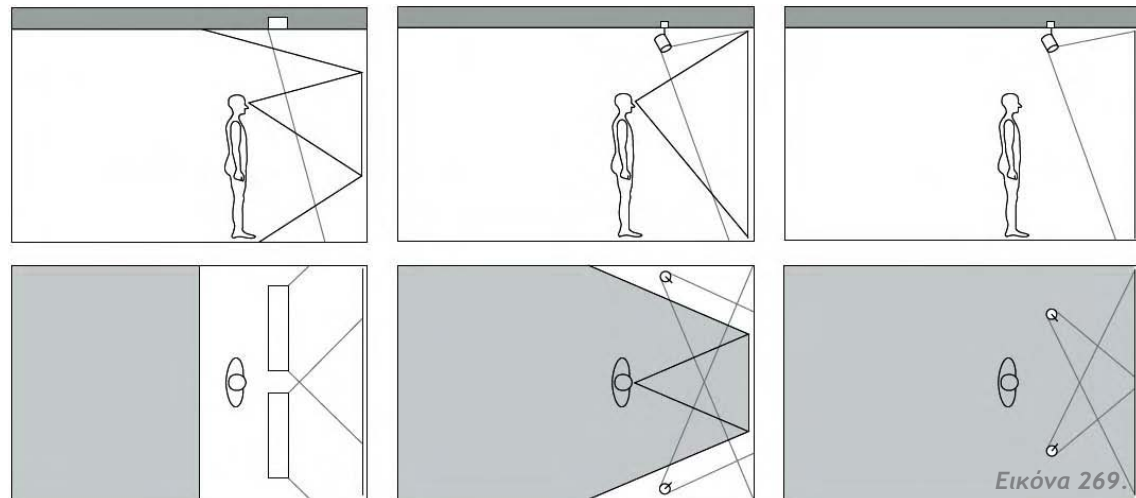
$x = y \cdot \tan 30^\circ$

Room height	x = Distance spot/wall
2.7 m	0.60 m
3.3 m	0.95 m
4.0 m	1.35 m

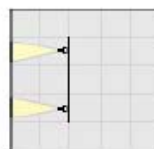
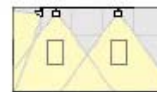
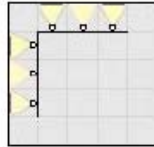
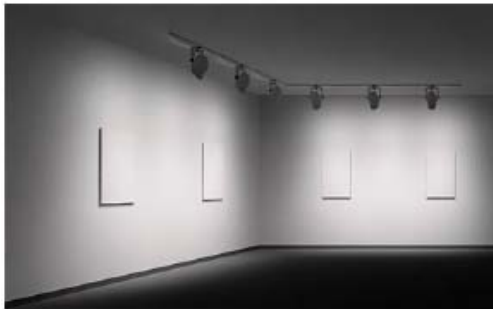
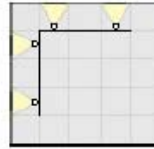
Εικόνα 267.



Εικόνα 268.



Εικόνα 269.



εικόνα 270.

Εικόνα 267. θέση πινάκων και φωτισμός - πηγή: *Licht magazine*  
 Εικόνα 268. φωτισμός κατακόρυφης επιφάνειας τοίχου με φωτιστικά διαφορετικού ύρους δεσμής - πηγή: *Ergo*  
 Εικόνα 269. θέσεις φωτιστικών για αποφυγή θάμβωσης - πηγή: *Ergo*  
 Εικόνα 270. φωτισμός πινάκων με spot διαφορετικής δέσμης για διαφορετικό βαθμό ανάδειξης - πηγή: *Ergo*  
 Εικόνα 271. φωτισμός πινάκων και του υποβάθρου με spot, Getty center, Santa Monica, California - πηγή: *Cuttle, Light for art's sake* (2007)



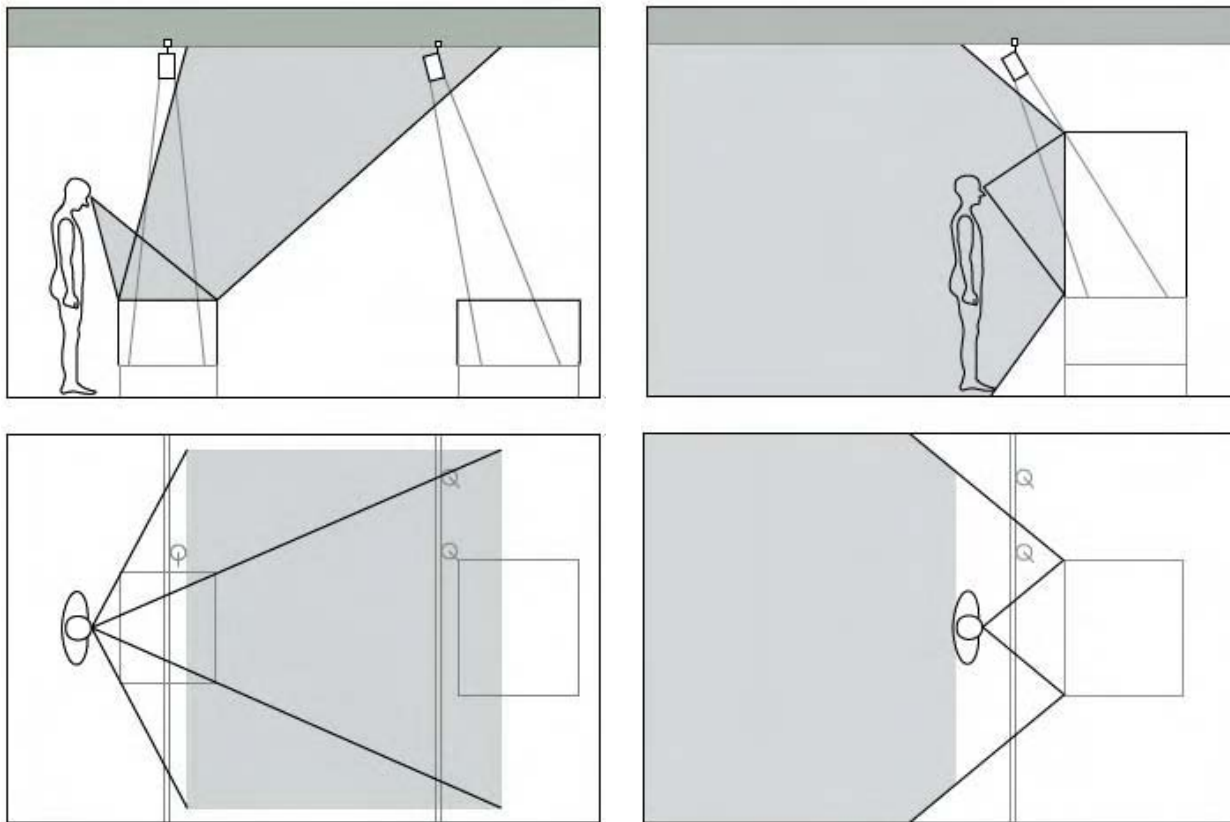
εικόνα 271.

## ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΠΡΟΘΗΚΩΝ

Για λόγους ασφαλείας και σε περιπτώσεις εξαιρετικά ευαίσθητων ή πολύτιμων αντικειμένων, η έκθεσή τους γίνεται μέσα σε προθήκες. Η ενσωμάτωση των προθηκών στον εκθεσιακό χώρο πρέπει να μελετάται από την αρχική φάση του σχεδιασμού του μουσείου, καθώς απαιτούν διαφορετική αντιμετώπιση στο φωτισμό και γι' αυτό θα ακολουθήσει μια γενική μόνο αναφορά στην παρούσα ερευνητική εργασία.

Οι προθήκες συνήθως είναι γυάλινες με το ελάχιστο δυνατό πλαίσιο στήριξης ώστε να μη δημιουργεί σκιάσεις. Μπορεί να βρίσκονται ελεύθερες στο χώρο ή να ενσωματώνονται στις κατακόρυφες επιφάνειες του μουσείου ή τέλος μπορεί να είναι επιτραπέζιες.

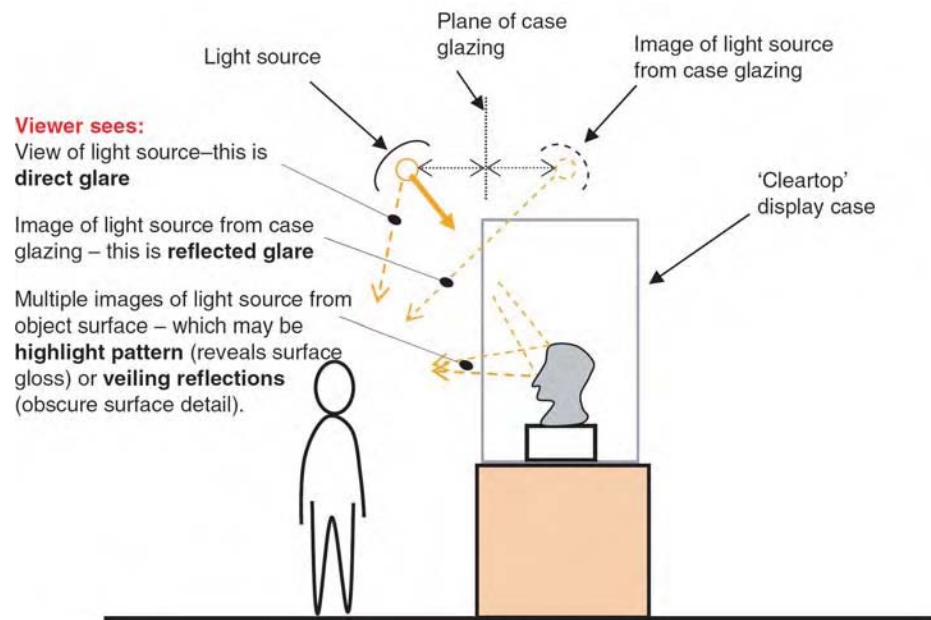
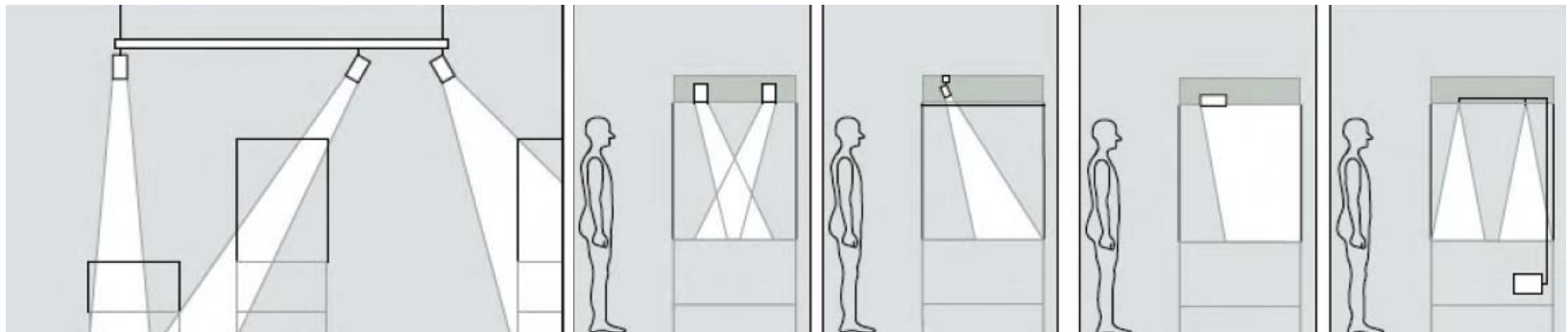
Για τις προθήκες υπάρχει η δυνατότητα να φωτίζονται εσωτερικά ή εξωτερικά. Κατ' αρχήν θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι πηγές φωτισμού δε θα είναι μέσα στο οπτικό πεδίο των θεατών. Ειδικά στην περίπτωση του εξωτερικού φωτισμού πρέπει να μη δημιουργούνται ανακλάσεις από τις πηγές φωτισμού πάνω στις γυάλινες επιφάνειες, αλλά και να μη δημιουργούνται σκιές από τους θεατές πάνω σε αυτές. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και η ανάκλαση από τα παράθυρα, αν υπάρχουν στο χώρο.



Εικόνα 272. φωτισμός προθηκών εξωτερικά, σχεδιασμός για αποφυγή θάμβωσης - πηγή: Erco

Στις προθήκες που φωτίζονται εσωτερικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν πηγές φθορισμού ή αλογόνου χαμηλής τάσης. Αυτό που είναι σημαντικό είναι να επιλέγονται λαμπτήρες με χαμηλή εκπομπή υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας, καθώς εγκλωβίζονται μέσα στην προθήκη. Ο αερισμός είναι σε αυτήν την περίπτωση πολύ σημαντικός.

Τελευταία έχει αναπτυχθεί η τάση να φωτίζονται οι προθήκες με οπτικές ίνες, δηλαδή ένα σύστημα διανομής του φωτός από μία απομακρυσμένη φωτεινή πηγή που βρίσκεται έξω από την προθήκη, μέσω ευέλικτων πλαστικών αγωγών ή δεσμών από γυάλινες ίνες. Το πλεονέκτημα είναι ότι με την απομάκρυνση της πηγής του φωτισμού από την προθήκη είναι πιο εύκολος ο έλεγχος, η συντήρηση και η αλλαγή του λαμπτήρα. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε πολύ μικρές προθήκες όπου οι διαστάσεις δεν επιτρέπουν τη χρήση συμβατικών φωτιστικών. Συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία των οπτικών ινών προσφέρουν βελτιώσεις στη μέχρι πρότινος φτωχή χρωματική τους απόδοση και αποδοτικότητα.



Εικόνα 273. (πάνω) τεχνικές φωτισμού προθηκών με spot και floodlights εσωτερικά και εξωτερικά της προθήκης και τέλος με οπτικές ίνες - πηγή: Erco

Εικόνα 274. (αριστερά) φωτισμός προθήκης και θάμβωση - πηγή: Erco





Εικόνα 275.



Εικόνα 276.

Εικόνα 275. φωτισμός προθηκών εσωτερικά που αναδεικνύει τις λεπτομέρειες των μεταλλικών εκθεμάτων - πηγή: "Good Lighting for Museums, Galleries and Exhibitions", Licht.wissen

Εικόνα 276. the ashmolean museum, Oxford, σχεδιασμός φωτισμού Kevan Shaw - πηγή: [www.kevan-shaw.com](http://www.kevan-shaw.com)

Εικόνα 277. το τζάμι της προθήκης σχεδόν εξαφανίζεται λόγω των ιδιαίτερα χαμηλών επιπέδων φωτισμού του υποβάθρου, Εθνικό μουσείο, Washington - πηγή: Cuttle, Light for art's sake (2007)

Εικόνα 278. φωτισμός με LED για λόγους προστασίας των πολύ ευαίσθητων εκθεμάτων από υπεριώδη και υπέρυθη ακτινοβολία - πηγή: "Good Lighting for Museums, Galleries and Exhibitions", Licht.wissen



Εικόνα 277.



Εικόνα 278.



Το κύριο χαρακτηριστικό των χώρων που φιλοξενούν μη μόνιμες εκθέσεις είναι η προσαρμοστικότητα του συστήματος φωτισμού για να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των διαφόρων εκθέσεων. Αν για παράδειγμα ο χώρος προορίζεται μόνο για εκθέσεις πινάκων χρειάζεται πολύ λιγότερη προσαρμοστικότητα σε σχέση με κάποιο χώρο ελεύθερης κάτοψης όπου μπορούν να φιλοξενηθούν εκθέματα κάθε είδους και διαφορετικής ευαισθησίας. Ανάλογα με το βαθμό προσαρμοστικότητας είναι διαφορετική η στρατηγική για το φωτισμό που μπορεί να υιοθετηθεί.

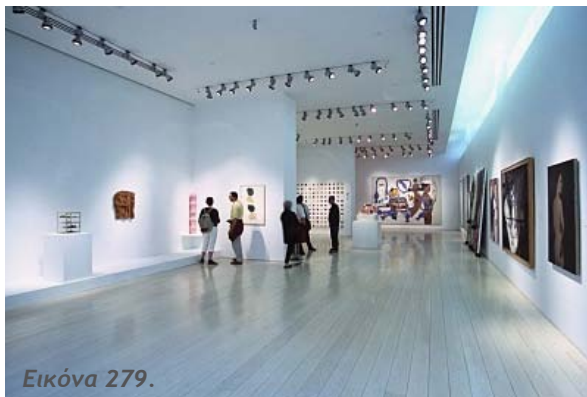
Βασική μέριμνα για τον τεχνητό φωτισμό είναι να υπάρχει ένα ευέλικτο σύστημα που να μπορεί να φιλοξενεί διάφορους τύπους λαμπτήρων και φωτιστικών. Έτσι ανάλογα με τις απαιτήσεις θα τοποθετούνται διαφορετικά φωτιστικά όπου χρειάζεται για να επιτευχθεί το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα στο φωτισμό. Η πιο απλή λύση είναι το σύστημα με ράγες, που θα πρέπει να μεριμνά ώστε σε κάθε πιθανό σημείο τοποθέτησης των εκθεμάτων η δέσμη του φωτός δεν πρέπει να δημιουργεί με την κατακόρυφο γωνία μεγαλύτερη από 40° για την αποφυγή θάμβωσης. Επίσης είναι χρήσιμο το σύστημα αυτό να μπορεί να εξασφαλίσει και το γενικό φωτισμό του χώρου, π.χ. με έμμεσα φωτιστικά. Επίσης πρέπει να δίνεται η δυνατότητα να αυξηθεί ή να μειωθεί η ένταση του φωτισμού, πράγμα όμως που εξαρτάται από το είδος των λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται για να μην επηρεαστεί η χρωματική τους απόδοση (όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τους λαμπτήρες πυράκτωσης όταν χρησιμοποιούνται σε μικρότερη τάση). Οι μεταβολές του τεχνητού φωτισμού πρέπει να ενεργοποιούνται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα με βάση τις μεταβολές στο διαθέσιμο φως της μέρας. Τέλος ένα σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων διαχείρισης είναι η δυνατότητα συνεχούς καταγραφής των επιπέδων φωτισμού στο χώρο και της αθροιστικής έκθεσης των εκθεμάτων στο φως, με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολη και αποτελεσματική η προστασία των έργων.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι αν το σύστημα φωτισμού θα είναι ορατό και ποιος θα είναι ο βαθμός ενσωμάτωσής του στο αρχιτεκτονικό υπόβαθρο και στο ύψος της εκάστοτε έκθεσης.

Εικόνα 279. οίκος δημοπρασιών Christie's, Νέα Υόρκη - πηγή: Erco

Εικόνα 280. Μουσείο αρχιτεκτονικής, Όσλο - πηγή: Erco

Εικόνα 281. Jorge Welsh gallery, Λισσαβόνα - πηγή: Erco



Εικόνα 279.



Εικόνα 280.



Εικόνα 281.

Η συνεχής εξέλιξη και ενοποίηση των δυνατοτήτων των ψηφιακών προγραμμάτων γραμμικής σχεδίασης (CAD), φωτορεαλιστικής απεικόνισης, εικονικής πραγματικότητας και του διαδικτύου προσφέρουν σήμερα νέες ευκαιρίες σε αρχιτέκτονες και μελετητές φωτισμού για τη δημιουργία εικόνων που με εξαιρετική ακρίβεια προσομοιώνουν τις συνθήκες φυσικού και τεχνητού φωτισμού στον υπό μελέτη χώρο.

Η νέα γενιά των προγραμμάτων υπολογισμού των επιπέδων φωτισμού εσωτερικών και εξωτερικών χώρων προσφέρει ακριβή ποσοτικά στοιχεία, δυνατότητα περιήγησης στον εικονικό χώρο και τρισδιάστατες απεικονίσεις. Τα προγράμματα αυτά αποτελούν εξαιρετικά εργαλεία που η σύγχρονη τεχνολογία προσφέρει σε αρχιτέκτονες και μελετητές φωτισμού για την υποστήριξη της διαδικασίας σχεδιασμού.

Οι πιο γνωστές κατηγορίες απεικόνισης είναι γνωστές με την αγγλική τους ορολογία: Ray Tracing (Ικνηλάτηση Ακτίνας) και Radiosity. Λειτουργούν με αλγόριθμους που κάνουν τους απαραίτητους μαθηματικούς υπολογισμούς και προσδίδουν στο κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της οθόνης το κατάλληλο χρώμα.

Raytracing είναι η διαδικασία εκείνη που κυριολεκτικά ξανά-ικνηλατεί τις ακτίνες του φωτός που υπάρχουν στο χώρο (και απεικονίζονται στην οθόνη του υπολογιστή από pixel) όπως γίνονται ορατές από τον παρατηρητή καθώς και την πορεία των ακτίνων από τις διάφορες επιφάνειες πίσω στις φωτεινές πηγές (ακτίνες σκίασης). Αυτός ο τρόπος απεικόνισης είναι ιδιαίτερα χρήσιμος όταν απεικονίζονται επιφάνειες με καθρέπτη ή διαφανείς επιφάνειες, αλλά οι σκιάσεις είναι συχνά πολύ σκληρές, καθώς δεν υπολογίζονται οι ανακλάσεις του φωτός από τις διάφορες επιφάνειες του χώρου, άρα και ο έμμεσος φωτισμός. Η διαδικασία υπολογισμού πρέπει να επαναληφθεί όταν αλλάξει η θέση του παρατηρητή.

Οι έμμεσες ενδιάμεσες ανακλάσεις λαμβάνονται υπόψη στο δεύτερο τρόπο απεικόνισης, στο Radiosity. Κάθε επιφάνεια αναλύεται αυτομάτως σε μικρότερα μέρη τα οποία επανακατευθύνουν το φως ομοιόμορφα στο χώρο λειτουργώντας ως φωτεινές πηγές έμμεσου φωτισμού. Όλες οι επιφάνειες υποτίθεται είναι από ιδανικό διάχυτο υλικό και απεικονίζουν το φως ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Η φωτεινή ροή κάθε επιφάνειας καθορίζεται από την δυνατότητα διάχυσης του εκάστοτε υλικού. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν πιο απαλές σκιάσεις που δίνουν ένα πιο ρεαλιστικό οπτικό αποτέλεσμα. Η μέθοδος αυτή απαιτεί μεγάλο χρόνο υπολογισμού αποδίδοντας ένα εξαιρετικά ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο.

Το γεγονός ότι η μέθοδος Raytrace εξαρτάται από τη θέση του παρατηρητή ενώ η μέθοδος Radiosity όχι, αποτελεί και τη μεγάλη διαφορά μεταξύ των δυο μεθόδων. Συμπερασματικά, για όσο το δυνατόν πειστικότερες φωτορεαλιστικές απεικονίσεις απαιτείται ο συνδυασμός και των δυο μεθόδων.

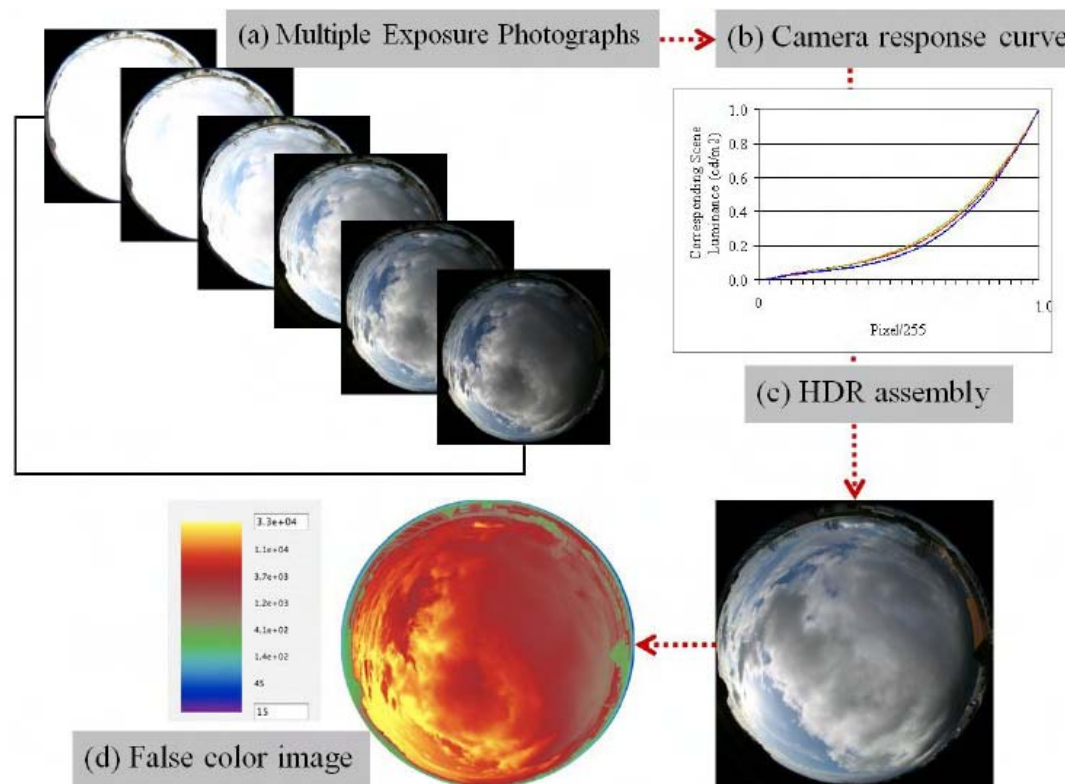
Τα προγράμματα υπολογισμού των επιπέδων φωτισμού για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους έχουν επίσης εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Είναι σαφώς πιο εύκολα στη χρήση και ταχύτερα στην παραγωγή αριθμητικών αποτελεσμάτων για τα επίπεδα φωτισμού και λαμπρότητας σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο με δυνατότητα δημιουργίας σχετικά απλοϊκών τρισδιάστατων απεικονίσεων των αποτελεσμάτων του φωτισμού. Οι εικόνες αυτές είναι φωτομετρικά ορθές καθώς για τη δημιουργία τους χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα φωτιστικά με συγκεκριμένους τύπους λαμπτήρων. Αρχικά τα προγράμματα αυτά εξελίχτηκαν από τους μεγαλύτερους διεθνώς κατασκευαστές φωτιστικών, με σκοπό να βοηθήσουν τους μελετητές στον ορθό σχεδιασμό του φωτισμού ενός χώρου. Τα τελευταία χρόνια έχουν εξελιχθεί προγράμματα από ανεξάρτητες εταιρίες όπως το Dialux, το Relux, το Litestar στην Ευρώπη και το Lumen Micro και AGI 32 στις Ηνωμένες Πολιτείες, που είναι τεχνολογικά πολύ πιο εξελιγμένα και προσφέρουν δυνατότητες εισαγωγής φωτομετρικών στοιχείων από μεγάλο αριθμό εταιρειών, κάνουν υπολογισμούς για τα επίπεδα του φυσικού φωτός και προσφέρουν ολόένα και πιο ικανοποιητικές τρισδιάστατες απεικονίσεις με δυνατότητα περιήγησης στο χώρο.

Τα προγράμματα φωτομετρίας αποτελούν το βασικό εργαλείο του μελετητή φωτισμού, καθώς μπορούν να εξασφαλίσουν μια εμπειριστωμένη μελέτη με εντυπωσιακή παρουσίαση, χωρίς βέβαια να μπορούν να αντικαταστήσουν τη γνώση και την εμπειρία του.

Το ecotect είναι ένα πρόγραμμα που από την αρχή του σχεδιασμού δίνει τη δυνατότητα στον αρχιτέκτονα να ενσωματώσει στο τρισδιάστατο αρχιτεκτονικό μοντέλο αναλύσεις και υπολογισμούς για θέματα φωτισμού, ηλιασμού, ακουστικής και θέρμανσης. Προσφέρει πληθώρα υπολογιστικών εργαλείων τα οποία ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να εξετάσει από πολλές παραμέτρους, με σκοπό να βελτιώσει την ενεργειακή συμπεριφορά και απόδοση του μοντέλου του, ανατροφοδοτώντας το πρόγραμμα συνεχώς με νέα δεδομένα. Έτσι δεν αποτελεί απλώς ένα υπολογιστικό εργαλείο που δίνει μονοσήμαντα αποτελέσματα αλλά αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού κατά τη διαδικασία μελέτης.

Το Radiance είναι ένα σχεδιαστικό - υπολογιστικό εργαλείο που συνεργάζεται με το Ecotect με σκοπό να αναλύει, να βελτιώνει και να προσομοιώνει την απόδοση συστημάτων φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Είναι ένα από τα πιο αποτελεσματικά εργαλεία για το φωτισμό, καθώς μπορεί να χειριστεί οποιαδήποτε γεωμετρία καθώς επίσης και τον έμμεσο φωτισμό από ανακλάσεις.

Με την τεχνική High Dynamic Range (HDR) για τη σύνθεση της εικόνας μιας σκηνής γίνονται πολλές διαδοχικές λήψεις με μεγάλο χρόνο έκθεσης προκειμένου να αποτυπωθεί όλο το εύρος των διαφορετικών λαμπροτήτων που υπάρχουν στη σκηνή. Η λειτουργία αυτή γίνεται με βάση έναν αλγόριθμο που υπολογίζει τη βαθμονόμηση και στη συνέχεια συγχωνεύει όλες τις εικόνες σε μία ενιαία εικόνα hdr. Το χαρακτηριστικό αυτών των εικόνων είναι ότι το κάθε ένα pixel ανταποκρίνεται αριθμητικά στην πραγματική φωτεινότητα του αντίστοιχου σημείου. Η τεχνική αυτή που αρχικά βρίσκει εφαρμογή στη φωτογραφία, σήμερα εφαρμόζεται στην προσομοίωση φωτισμού, παρέχοντας στο μελετητή ένα ακριβές εργαλείο υπολογισμού και ανάλυσης των φωτομετρικών χαρακτηριστικών του χώρου που μελετά.



Εικόνα 282. ορισμός της λειτουργίας της τεχνικής HDR - πηγή: Mehlika Inanici, applications of image based rendering in lighting simulation: development and evaluation of image based sky models (2009)