

Η χρήση των οπτικών ινών στον αρχιτεκτονικό φωτισμό

α' μέρος

Τα συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές εφαρμογές αρχιτεκτονικού φωτισμού την τελευταία δεκαετία και έχουν προσφέρει μοναδικές λύσεις σε περιπτώσεις που η χρησιμοποίηση συμβατικών συστημάτων φωτισμού κρινόταν οικονομικά ασύμφορη ή τεχνικά αδύνατη. Η τεχνολογική εξέλιξη, σε

συνδυασμό με τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες είτε για φωτισμό ειδικών χώρων, όπως για παράδειγμα των προθηκών των μουσείων ή των βιτρινών των καταστημάτων, είτε για τη δημιουργία ευφάνταστων εφέ φωτισμού, για παράδειγμα, σε ξενοδοχεία, εστιατόρια ή απλά σε ένα σιντριβάνι, έχει οδηγήσει στη διαρκώς αυξανόμενη χρήση τους.

Η ευρεία αποδοχή των συστημάτων φωτισμού με οπτικές ίνες ακόμα και από τους πιο απαιτητικούς μελετητές φωτισμού και αρχιτέκτονες δεν είναι τυχαία, αφού τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής, δηλαδή η δυνατότητα εφαρμογής φωτισμού, χωρίς τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος και τη συνακόλουθη εμφάνιση υπερϊώδους ακτινοβολίας και την ανάπτυξη θερμότητας σε συνδυασμό με τη δυνατότητα διαμελισμού μιας φωτεινής πηγής σε μεγάλο αριθμό φωτεινών σημείων, προσφέρουν αποδεδειγμένα νέες ευκαιρίες για ποιοτικότερες και αποτελεσματικότερες λύσεις φωτισμού.

Τεχνική περιγραφή

Η φυσική ιδιότητα του φωτός (ενέργεια ακτινοβολίας που ταξιδεύει ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα) να κινείται σε ευθεία γραμμή και να αλλάζει κατεύθυνση με ανάκλαση και διάθλαση βρίσκεται πίσω από τη βασική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος φωτισμού με οπτικές ίνες. Το φως από μια φωτεινή πηγή ταξιδεύει μέσω μιας σειράς εσωτερικών ανακλάσεων κατά μήκος κάθε ξεχωριστής ίνας μέχρι την άκρη της, όπου και εκπέμπεται απευθείας ή μέσω κάποιου φακού. Μόνο ένα μέρος της ακτίνας του

φωτός που εισέρχεται στην άκρη της οπτικής ίνας υπό συγκεκριμένες και περιορισμένου εύρους γωνίες ανακλάται κατά μήκος της και εξέρχεται από το άκρο της, ενώ το υπόλοιπο διαθλάται και αφού διέλθει από τη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια απομακρύνεται. Η ειδική κατασκευή της οπτικής ίνας περιορίζει αισθητά την έξοδο του φωτός με διάθλαση που συνήθως κυμαίνεται από 5% έως 10%.

Τα συστήματα φωτισμού μέσω οπτικών ινών αποτελούνται από τα ακόλουθα τρία βασικά στοιχεία:

Φωτεινή πηγή τροφοδοσίας

Η φωτεινή πηγή τοποθετείται μπροστά από μια ή περισσότερες οπτικές ίνες, οι οποίες είναι συγκεντρωμένες σε δέσμες και διοχετεύει την κατάλληλη ποσότητα φωτισμού μέσα σε αυτές. Η κάθε δέσμη εφαρμόζει στη φωτεινή πηγή με ειδικό σύνδεσμο. Ο αριθμός των οπτικών ινών σε μια δέσμη εξαρτάται από τη διάμετρό τους, η επιλογή της οποίας είναι συνάρτηση της χρήσης του συστήματος και των επιπέδων φωτισμού που επιθυμείται να επιτευχθούν. Οι μικρές διαστάσεις της φωτεινής πηγής και ο ακριβής οπτικός έλεγχος της φωτεινής δέσμης αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη διοχέτευση της μέγιστης δυ-

νατής ποσότητας φωτός σε μια οπτική ίνα. Στις φωτεινές πηγές συνήθως χρησιμοποιούνται λαμπτήρες χαμηλής τάσης αλογόνου με ειδικό ανακλαστήρα ή λαμπτήρες μεταλλικών ατμών με αλογονίδια, όταν απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα φωτισμού. Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων αυτών κυμαίνεται από 2.000 έως 6.000 ώρες. Η διάρκεια ζωής των λυχνιών, καθώς και ο δείκτης χρωματικής απόδοσης, η θερμοκρασία χρώματος, η απόδοσή τους και ιδιαίτερα το μέγεθος του τόξου τους είναι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη σε κάθε σχεδιασμό φωτισμού με συστήματα οπτικών ινών. Στη φωτεινή πηγή υπάρχει, επίσης, η δυνατότητα φιλτραρίσματος των υπέρυθρων και υπεριώδων ακτινών, εναλλαγής χρωμάτων, ρύθμιση της έντασης του εκπεμπόμενου φωτισμού, καθώς και η δημιουργία άλλων οπτικών εφέ. Επίσης υπάρχει δυνατότητα προγραμματισμού των φωτεινών πηγών μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας DMX 512, καθώς και συγχρονισμού δυο ή περισσότερων φωτεινών πηγών, ώστε να εκτελούν το ίδιο πρόγραμμα.

Σύστημα μετάδοσης του φωτισμού με τις οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες είναι διαφανείς και αποτελού-



Εικ. 1. Εντυπωσιακή εγκατάσταση συστήματος φωτισμού με οπτικές ίνες στο Regents Place του Λονδίνου. (Lighting Design: MBLD)

νται από τον πυρήνα (Core) μέσω του οποίου γίνεται η μεταφορά του φωτός και έναν περιβάλλοντα αυτόν μανδύα. Τόσο ο πυρήνας όσο και το περιβλήμα του αποτελούνται συνήθως από το ίδιο υλικό που είναι είτε γυαλί είτε πλαστικό (συνήθως μετακρυλικό πολυμεθύλιο, PMMA). Οι δείκτες ανάκλασης του πυρήνα και του περιβλήματος είναι τέτοιοι, ώστε η οπτική ίνα να βρίσκεται σε συνθήκες ολικής ανάκλασης και το φως να διαδίδεται κατά μήκος της έως ότου εξέλθει από το άκρο της. Η διάμετρος των καλωδίων οπτικών ινών κυμαίνεται από 0,093 έως 18 χιλιοστά. Οι πλαστικές οπτικές ίνες έχουν ικανοποιητική διάρκεια ζωής, φιλτράρουν μέρος των υπεριώθων και υπεριώδων ακτινών και αντέχουν σε θερμοκρασίες από -25°C έως $+70^{\circ}\text{C}$. Οι γυάλινες οπτικές ίνες θεωρούνται η καλύτερη δυνατή επιλογή σε εφαρμογές που η ποιότητα του εκπεμπόμενου φωτός, τόσο από πλευράς έντασης όσο και από πλευράς χρωματικής απόδοσης, απαιτείται να είναι υψηλή. Έχουν εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής, μεγαλύτερη φωτεινότητα από τις συνθετικές και φιλτράρουν την υπεριώδη και μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, ενώ αντέχουν σε θερμοκρασίες από -60°C έως $+200^{\circ}\text{C}$. Η ποιότητα του φωτισμού που παράγεται από μια ανεξάρτητη οπτική ίνα εξαρτάται από το είδος της φωτεινής πηγής, το μήκος, τη διάμετρο και το συντελεστή απόσβεσης της συγκεκριμένης ίνας.

Τερματικά φωτιστικά σώματα

Τα τερματικά φωτιστικά σώματα είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο, ορείχαλκο ή πλαστικό, προσαρμόζονται στους ακροδέκτες των

οπτικών ινών και ο ρόλος τους είναι η ελεγχόμενη μετάδοση (με διάχυση ή συγκέντρωση) του φωτός που φτάνει στο άκρο της ίνας. Η μορφή των φωτιστικών σωμάτων εξαρτάται από τη χρήση τους και τις ιδιαίτερες συνθήκες της εφαρμογής. Συνήθεις τύποι φωτιστικών τέτοιου τύπου είναι τα σταθερά ή κινητά κατεύθυνση, οι διακοσμητικοί κρύσταλλοι που προσθέτουν λάμψη σε ένα χώρο κ.α.

Πλεονεκτήματα

Το σοβαρότερο πλεονέκτημα των συστημάτων φωτισμού μέσω οπτικών ινών είναι η δυνατότητα διαμελισμού μιας φωτεινής πηγής σε μεγάλο αριθμό φωτεινών σημείων που λειτουργώντας ως δευτερεύουσες φωτεινές πηγές παρέχουν τον κατάλληλο φωτισμό σε ένα αντικείμενο, σε ένα χώρο ή δημιουργούν ενδιαφέροντα διακοσμητικά οπτικά εφέ. Η ταυτόχρονη μεταφορά του φωτός σε πολλά σημεία από μια μόνο φωτεινή πηγή η οποία μπορεί να βρίσκεται σε προσιτή θέση κάνει δυνατή την υλοποίηση σχεδιασμών φωτισμού που θα παρέμειναν ανεκπλήρωτοι με συμβατικές μεθόδους εξαιτίας τόσο των τεχνικών δυσκολιών όσο και του υψηλού κόστους συντήρησης μιας τέτοιας εγκατάστασης. Τα συστήματα οπτικών ινών δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση, οι ίδιες οι οπτικές ίνες έχουν εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής, όπως μεγάλη διάρκεια ζωής έχουν και οι περισσότεροι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται σήμερα στα συστήματα αυτά.

Σε εφαρμογές "διακοσμητικού" φωτισμού (έναστροιο ουρανοί, δημιουργία σχεδίων και

Optic fibers and architectural lighting

Lighting systems with optic fibers have been used quite successfully in many architectural lighting applications during the last decade. They have offered unique solutions in cases where the use of conventional lighting systems would be costly or technically impossible.

The technological evolution and 'maturing' of these systems, in combination with the constantly increasing needs for special lighting, like in museums or shop windows, or even for the creation of impressive light effects in hotels, restaurants or even a water spring, has lead to their also increasing use of these systems.

The general appeal of lighting systems with optic fibers to some very demanding scholars and architects is not accidental at all, since the main benefits of such technology - the ability to apply light without electric supply and the sequential appearance of UV radiation and warmth in combination with the ability to segment a light source in a huge number of light spots, have proved to offer new possibilities for more high-quality and effective light solutions.

The most important asset of optic fiber lighting though is the segmentation of a light source to a great number of light spots that act as secondary light sources and offer special lighting to an object, space or create interesting visual effects.

The simultaneous transportation of light to many places from a solitary source which can be placed in an accessible position, brings to reality ways of lighting that would remain impossible to achieve otherwise. And that would be because of the technical difficulties and the costly conservation and installation of such mechanisms.

The optic fiber systems do not demand any special care and their life span is actually amazing, almost as it is with the contemporary light bulbs used in these systems today.

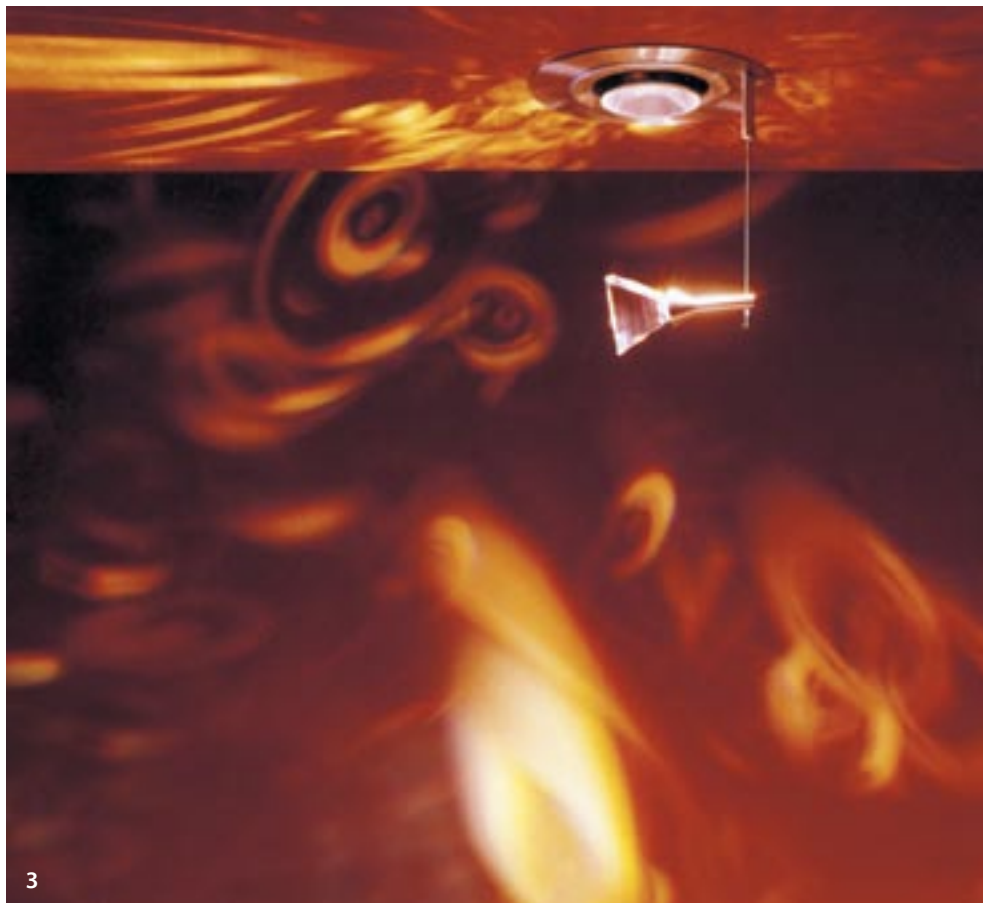
By T. Kontorigas



Εικ. 2. Εφαρμογή συστήματος οπτικών ινών γραμμικού φωτισμού σε εξωτερικό χώρο.
(Πηγή: Ilti Luce)

Εικ. 3,4. Με τη χρήση ειδικών εξαρτημάτων με κρύσταλλα Swarovski, μπορεί να δημιουργηθεί ένα ιδιαίτερα εντυπωσιακό εφέ.
(Πηγή: Swarovski)

Εικ. 5. Εντυπωσιακή εγκατάσταση συστήματος οπτικών ινών με εναλλαγή χρωμάτων στο Somerset House στο Λονδίνο.
(Πηγή: PLD No. 20, Lighting Design: Phoenix/Large Lightmatters)



παραστάσεων από πλήθος μικρών φωτεινών σημείων) όπου η διάταξη των φωτεινών σημείων είναι πιο σημαντική από τη φωτεινότητά τους, το κόστος μελέτης και εφαρμογής ενός συστήματος οπτικών ινών μπορεί πολύ γρήγορα να αποσβεσθεί λόγω εξοικονόμησης σοβαρού κόστους συντήρησης.

Τα συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες αποτελούν σήμερα την πιο διαδεδομένη λύση φωτισμού προθηκών μουσείων με ιδιαίτερα ευαίσθητα στην υπεριώδη και υπέρυθη ακτινοβολία εκθέματα εξαιτίας του φιλτραρίσματος των ιδιαίτερως βλαπτικών ακτινοβολιών

στην περιοχή της πρωτεύουσας εκπομπής φωτός. Η δυνατότητα σχεδιασμού και εφαρμογής πολλών και εξαιρετικά μικρών φωτεινών σημείων προσφέρει ευελιξία στο σχεδιασμό του φωτισμού των προθηκών και ο φωτισμός μπορεί να ανταποκρίνεται στις αλλαγές των εκθεμάτων από έκθεση σε έκθεση. Επίσης, σημαντικά πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα αυξομείωσης της έντασης φωτισμού, η εναλλαγή χρωμάτων και η δημιουργία ειδικών οπτικών εφέ φωτισμού καθώς και η δυνατότητα επιλογής τελικού (end-emitting) ή γραμμικού (side-emitting) φωτισμού ανάλογα με την

εφαρμογή. Η απουσία ηλεκτρικού ρεύματος παρέχει αυτόματα στεγανότητα στην οπτική ίνα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια στο φωτισμό εξωτερικών χώρων (προσόψεις κτιρίων, δημόσιοι χώροι, κ.λπ.) και στο φωτισμό κολυμβητικών δεξαμενών, πισινών, σιντριβανιών, καταρακτών και ενυδρείων. Το πιο σημαντικό όμως πλεονέκτημα, από αρχιτεκτονικής άποψης, των συστημάτων αυτών είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης της οπτικής ίνας σε δομικά υλικά και στην αρχιτεκτονική ενός κτιρίου / χώρου, ώστε να εξασφαλιστεί η ελάχιστη δυνατή μορφολογική παρέμβαση.



5

Κάθε εγκατάσταση των συστημάτων αυτών απαιτεί και ξεχωριστή μελέτη και είναι ευθύνη του μελετητή φωτισμού ενός έργου σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα να προδιαγράψει με σαφήνεια και λεπτομέρεια τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του έργου, προτού η μελέτη παραδοθεί σε έναν κατασκευαστή για υλοποίηση.

Προβλήματα

Όπως συμβαίνει και στα περισσότερα συστήματα φωτισμού, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους, η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος οπτικών ινών μπορεί να μειωθεί σημαντικά εξαιτίας της συσσώρευσης ακαθαρσιών ή υπερβολικής υγρασίας. Η υγρασία μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη λειτουργία της φωτεινής πηγής τροφοδοσίας και για το λόγο αυτό τα κουτιά που την εμπεριέχουν θα πρέπει απαραίτητα να έχουν υψηλό βαθμό προστασίας εναντίον της σκόνης και της υγρασίας (για παράδειγμα IP65).

Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο σημείο που το “μπουκέτο” των οπτικών ινών συνδέεται με το κουτί της φωτεινής πηγής μπορεί να οδηγήσει σε αποχρωματισμό των συνδέσμων ή ακόμα και σε γενική αλλοίωση των οπτικών ινών που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας φωτός που συλ-

λέγεται και διανέμεται στο σημείο της ένωσης. Για την αποφυγή των πιο πάνω προβλημάτων θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να προδιαγράφονται υλικά και εξαρτήματα αποκλειστικά και μόνο υψηλής ποιότητας. Αυτό μπορεί να εξασφαλίσει την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διατήρηση και λειτουργία της εγκατάστασης στο χρόνο με όλα τα συνακόλουθα οικονομικά οφέλη.

Φωτομετρικοί υπολογισμοί

Στο παρελθόν, η δυσκολία των κατασκευαστών οπτικών ινών να παρουσιάσουν ακριβή φωτομετρικά στοιχεία για την απόδοση των συστημάτων τους υπήρξε σημαντικός παράγοντας για την καθυστέρηση της εξάπλωσης της τεχνολογίας αυτής σε εφαρμογές του γενικού φωτισμού. Στις μέρες μας, τα προβλήματα αυτά έχουν προ πολλού ξεπεραστεί και η τυποποίηση των πληροφοριών σχετικά με την απόδοση των συστημάτων, επιτρέπει στους μελετητές να επιλέγουν το κατάλληλο σύστημα οπτικών ινών ανάλογα με την απόδοση του και να λαμβάνουν αποφάσεις, όχι εμπειρικά, αλλά ύστερα από μια σειρά υπολογισμών ακρίβειας. Για το σκοπό αυτό, τα συστήματα οπτικών ινών με εκπομπή τελικού φωτισμού (end-emitting) θα πρέπει να δοκιμάζονται

έτσι, ώστε η απόδοσή τους να μπορεί να ταξινομηθεί με τρόπο αντίστοιχο των συμβατικών φωτιστικών. Τα συστήματα οπτικών ινών με εκπομπή γραμμικού φωτισμού (side-emitting) θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον μια τυπική τους τομή 1200 χιλιοστών δοκιμασμένη έτσι, ώστε τα φωτομετρικά στοιχεία να μπορούν να παρουσιαστούν κατά τρόπο ανάλογο με αυτά των λαμπτήρων φθορισμού. Οι πληροφορίες θα πρέπει να δίνονται για ένα στάνταρτ μήκος οπτικής ίνας έτσι, ώστε η απορρόφηση του φωτός κατά μήκος της ίνας να είναι δυνατό να προβλεφτεί με ακρίβεια και να υπολογιστεί σαν ένα επιμέρους στοιχείο στη μελέτη φωτισμού. Το φως απορροφάται καθώς διέρχεται κατά μήκος της οπτικής ίνας, μια διαδικασία που συχνά ονομάζεται απόσβεση. Ίνες διαφορετικού μήκους εκπέμπουν διαφορετικές ποσότητες φωτός, ανεξάρτητα εάν εκπέμπουν το φως στο τέλος ή γραμμικά.

Το ποσοστό αυτό της απώλειας φωτός ανά μέτρο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους φωτομετρικούς υπολογισμούς. Αρκετοί είναι οι κατασκευαστές συστημάτων φωτισμού με οπτικές ίνες που παρέχουν όλες αυτές τις πληροφορίες και μάλιστα σε ηλεκτρονική μορφή μαζί με ειδικά κατασκευασμένο software φωτομετρικών υπολογισμών.