



Τεχνικό Δελτίο

Μέρος Α – Βασικές έννοιες φωτιστικών LED - Ζητήματα Αξιοπιστίας

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	1
2.	Φωτιστικά σώματα LED	2
2.1.	Γενικά	2
2.2.	Φωτεινή Ροή των LED (Φν, lm).....	4
2.3.	Κατανομή φωτεινής έντασης φωτιστικού (cd)	4
2.4.	Θερμοκρασία Λειτουργίας	5
2.5.	Θερμική διαχείριση των φωτιστικών σωμάτων LED	6
2.5.1.	Οπτική μονάδα LED.....	6
2.5.2.	Τροφοδοτική μονάδα – Driver.....	8
2.6.	Σταδιακή εξασθένηση της φωτεινής ροής / Ωφέλιμη περίοδος LED	9
2.7.	Καταστροφικά σφάλματα	11
3.	Σύνοψη	13

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ραγδαία αύξηση στις πωλήσεις και στη χρήση φωτιστικών σωμάτων τεχνολογίας LED. Στη ραγδαία αυτή εξάπλωση, η οποία βρίσκεται ακόμα στα αρχικά της στάδια, παρατηρείται το πρόβλημα της έλλειψης ενσωμάτωσης προτύπων και διαδικασιών, ώστε να αξιολογούνται με ασφάλεια και αξιοπιστία σημαντικοί δείκτες ποιότητας και απόδοσης που χαρακτηρίζουν ένα φωτιστικό σώμα τεχνολογίας LED και μια εγκατάσταση φωτισμού γενικότερα.

Δείκτες όπως, η διατήρηση της φωτεινής ροής των LED, η αρχική φωτεινή ροή των LED, η φωτεινή ροή του φωτιστικού, η απόδοση του σε lm/W, η θερμοκρασία λειτουργίας κ.α., λόγω της προαναφερθείσας ασάφειας, έγιναν αντικείμενο εκμετάλλευσης και παραπληροφόρησης από πολλούς κατασκευαστές και διανομείς, με σκοπό τη διακήρυξη αβάσιμων τεχνικών χαρακτηριστικών που πολλές φορές ήταν εντελώς αντίθετα με την πραγματική κατάσταση. Ως αποτέλεσμα, πολλές φορές η αγορά τείνει να συγκρίνει εντελώς ανόμοια προϊόντα χωρίς αντικειμενικά κριτήρια.

Η αγορά φωτισμού στην Ελλάδα, αντιμετωπίζει αυτή τη στιγμή περισσότερο από ποτέ, την πρόκληση να αυξήσει το επίπεδο επαγγελματισμού όλων των εμπλεκόμενων μερών (εταιρείες φωτισμού – αντιπρόσωποι κατασκευαστών, μελετητές φωτισμού, Δήμοι – τεχνικές υπηρεσίες κ.α.) ώστε η μετάβαση από την εποχή του φωτισμού συμβατικής τεχνολογίας σε εκείνη των LED να γίνει με τρόπο που πραγματικά θα μεταμορφώσει τις πόλεις μας.

Σκοπός της παρούσας τεχνικής ενημέρωσης είναι να αποτελέσει ένα σύντομο οδηγό για τη χρήση και την αξιολόγηση των φωτιστικών σωμάτων LED.

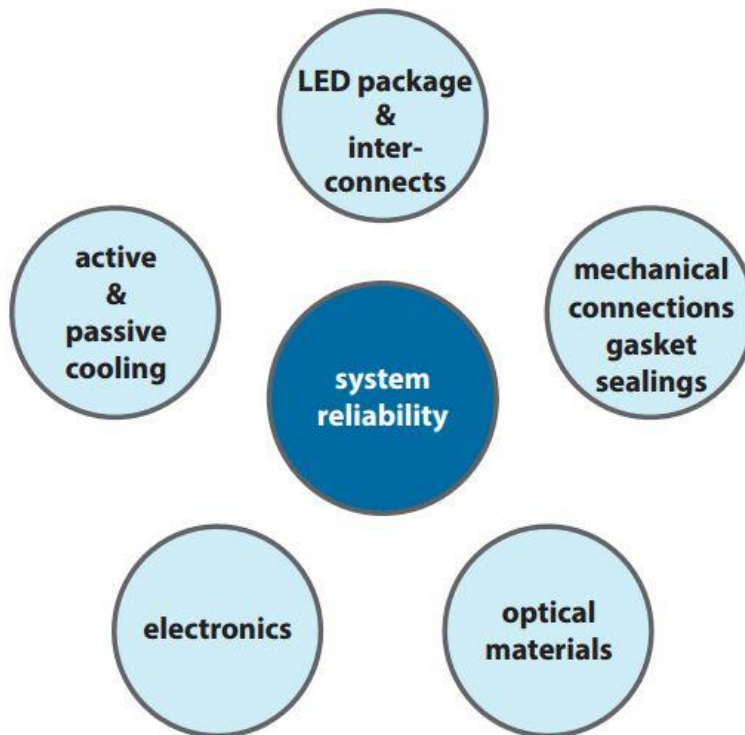
Το ερώτημα δεν είναι πλέον εάν πρέπει να αλλάξει ο φωτισμός των πόλεων με φωτιστικά τεχνολογίας LED αλλά κυρίως το πως θα γίνει αυτή η αλλαγή και με ποια κριτήρια.



2. Φωτιστικά σώματα LED

2.1. Γενικά

Τα φωτιστικά σώματα που βασίζονται στην τεχνολογία LED απαρτίζονται από διάφορα επιμέρους εξαρτήματα, η αξιοπιστία των οποίων διαμορφώνει την αξιοπιστία του συνολικού συστήματος. Η αξιοπιστία ενός συστήματος φωτισμού πολλές φορές δεν λαμβάνεται υπόψη και η αξιολόγηση περιορίζεται για παράδειγμα μόνο στη διατήρηση της φωτεινής ροής των LED π.χ. το σύνηθες L_{70} @ 50.000 ώρες. Τα φωτιστικά σώματα όμως, απαρτίζονται και από άλλα επιμέρους τμήματα και ως συνέπεια ένα φωτιστικό σώμα LED είναι τόσο αξιόπιστο όσο εκείνο το επιμέρους του εξάρτημα με τη μικρότερη διάρκεια ζωής.



Σχήμα 1 Κρίσιμα εξαρτήματα φωτιστικών σωμάτων LED.

Παρατηρώντας το Σχήμα 1, γίνεται φανερό πως η αξιοπιστία ενός φωτιστικού δεν περιορίζεται μόνο σε τί είδους LED ενσωματώνει, αλλά επεκτείνεται και στο πώς αυτά τα LED διαχειρίζονται θερμικά και φυσικά με τι είδους τροφοδοτικό (driver) «οδηγούνται». Η ποιότητα των LED chips με άλλα λόγια, είναι ο μισός δρόμος προς την μακροζωία του φωτιστικού, ο άλλος μισός είναι η θερμική σχεδίαση του φωτιστικού και φυσικά η ποιότητα του driver.



Στην αγορά κυκλοφορούν αμέτρητα προϊόντα που συνοδεύονται πολλές φορές από αβάσιμες δηλώσεις τόσο για τα αρχικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά, όσο και για τα διατηρούμενα σε βάθος χρόνου χαρακτηριστικά τους. Είναι σημαντικό να αντιληφθεί κανείς πως η μελλοντική διατήρηση και αξιοπιστία των συστημάτων φωτισμού είναι το κυρίως ζητούμενο ώστε να μπορεί να βασιστεί με ασφάλεια πάνω στο φωτισμό μια μακρόχρονη επένδυση με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.

Όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να διερευνηθούν μέσα από ένα σύντομο παράδειγμα. Λαμβάνοντας, επομένως, υπόψη δύο φωτιστικά σώματα, τα οποία φέρουν όμοια LED chips με απόδοση 160 lm/W, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την αξιοπιστία τους και να κάνουμε μερικές χρήσιμες συγκρίσεις.

Πίνακας 1 Συμβολή των επιμέρους εξαρτημάτων στη διαμόρφωση της τελικής απόδοσης φωτιστικού.

	Φωτιστικό σώμα Α	Φωτιστικό σώμα Β
	Αρχική απόδοση LED 160 lm/W	Αρχική απόδοση LED 160 lm/W
<i>Επίδραση θερμικής σχεδίασης</i>	Απόδοση 95% ή 152 lm/W	Απόδοση 85% ή 136 lm/W
<i>Επίδραση οπτικών συστημάτων</i>	Απόδοση 90% ή 137 lm/W	Απόδοση 80% ή 109 lm/W
<i>Επίδραση Driver</i>	Απόδοση 90% ή 123 lm/W	Απόδοση 80% ή 87lm/W
<i>Αρχική απόδοση φωτιστικού @Ta 25°C</i>	123 lm/W	87 lm/W
<i>Διατήρηση φωτεινής ροής μετά από 6000h</i>	Απόδοση 99% ή 122 lm/W	Απόδοση 90% ή 78 lm/W

Με βάση το συγκριτικό παράδειγμα του Πίνακα 1, εξάγονται μερικά πολύ χρήσιμα συμπεράσματα:

- το είδος LED που χρησιμοποιεί ένα φωτιστικό σώμα δεν είναι απαραίτητο να αποτελεί από μόνο του κριτήριο απόδοσης και ποιότητας. Η σχεδίαση του φωτιστικού είναι αυτή που καθορίζει την τελική αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρουν οι εκάστοτε οπτικές πηγές.
- Αναιρείται ο ισχυρισμός «τα φωτιστικά σώματα είναι όλα ίδια και αφού έχουν παρόμοια LED και Driver». Ιδιαίτερος στον οικικό και αστικό φωτισμό, η σχεδίαση του φωτιστικού σε θέματα οπτικής απόδοσης και θερμικής διαχείρισης καταλαμβάνει ίσως σημαντικότερο ρόλο ακόμα και πάνω από τα ίδια τα εξαρτήματα που φέρει το φωτιστικό.



2.2. Φωτεινή Ροή των LED (Φν, lm)

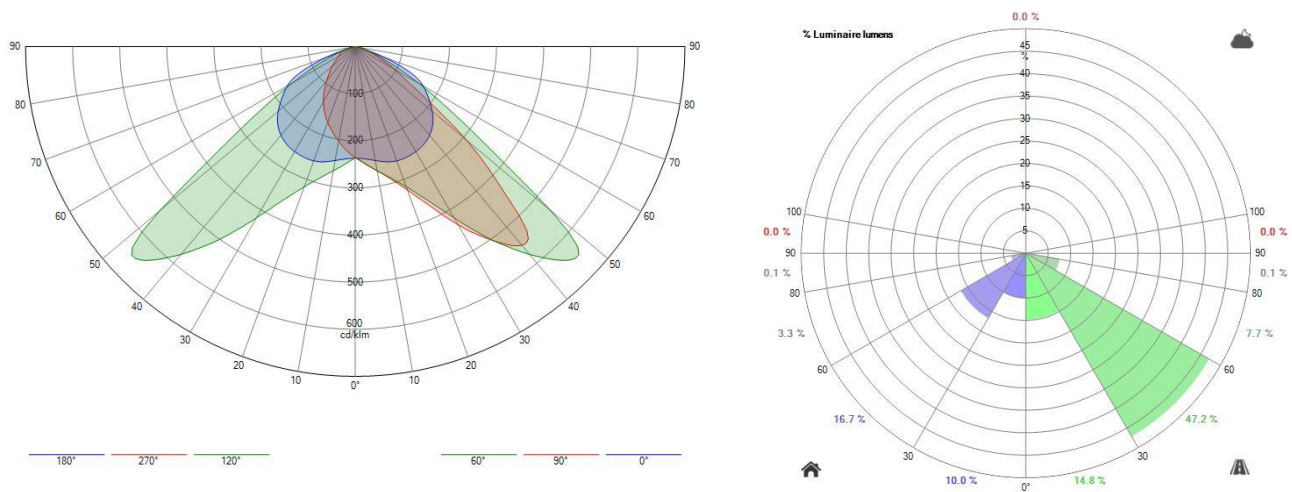
Η φωτεινή ροή ενός φωτιστικού LED, όταν αυτό λειτουργεί υπό καθορισμένες ονομαστικές συνθήκες, είναι η συνολική ισχύς που εκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις εντός του ορατού φάσματος και υπό φωτοπικά κριτήρια. Εκτός εάν ορίζεται διαφορετικά, η φωτεινή ροή που δίνεται για το φωτιστικό, πρέπει να μετρείται **σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C**. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μέτρηση της φωτεινής ροής για τα φωτιστικά σώματα LED αναλύεται στα πρότυπα LM 79 – 08 και EN 13032.

Σε περίπτωση που η φωτεινή ροή μετρείται σε διαφορετική θερμοκρασία, ο κατασκευαστής οφείλει να προσφέρει συντελεστή διόρθωσης για αναγωγή της φωτεινής ροής στους 25°C. Οι ισχυρισμοί πως η φωτεινή ροή διατηρείται ίδια σε όλο το φάσμα της θερμοκρασίας λειτουργίας είναι φυσικά μη έγκυρη. Η φωτεινή ροή μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και αυξάνεται με τη μείωση της

Με βάση την τιμή της φωτεινής ροής προκύπτει και η απόδοση του φωτιστικού σε lm/W, όπου W η συνολική καταναλισκόμενη ισχύς του φωτιστικού συμπεριλαμβανομένων όλων των εξαρτημάτων του και όχι μόνο αυτή των LED.

2.3. Κατανομή φωτεινής έντασης φωτιστικού (cd)

Η κατανομή της φωτεινής έντασης (cd) στο χώρο απεικονίζεται μέσω των πολικών διαγραμμάτων του φωτιστικού. Τα πολικά διαγράμματα βοηθούν ώστε να γίνεται αντιληπτό πως και προς τα που ένα φωτιστικό «οδηγεί τη φωτεινή του ροή».



Σχήμα 2 Πολικό διάγραμμα κατανομής της φωτεινής έντασης σε cd/klm (Αριστερά) & Πολικό διάγραμμα επιμερισμού της συνολικής φωτεινής ροής του φωτιστικού (Δεξιά).

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εξαγωγή των δεδομένων για την κατανομή της φωτεινής έντασης για τα φωτιστικά σώματα LED, αναλύεται στα πρότυπα **LM 79 και EN 13032**.

Εξαιτίας της σημασίας της φωτεινής ροής και της κατανομής της φωτεινής έντασης στη σχεδίαση έργων φωτισμού, ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στην αξιοπιστία των φωτομετρικών μεγεθών. Τα αξιόπιστα εργαστήρια τα οποία διεξάγουν τέτοιες μετρήσεις είναι διαπιστευμένα για τους παραπάνω σκοπούς με ISO 17025. Τα φωτομετρικά δεδομένα εξάγονται ηλεκτρονικά σε αρχεία EULUMDAT ή IES, αρχεία με την κατάληξη .ldt και .ies, αντίστοιχα.

2.4. Θερμοκρασία Λειτουργίας

Η απόδοση του φωτιστικού επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Δύο σημαντικές τιμές θερμοκρασίας για τα φωτιστικά είναι i) η θερμοκρασία T_a και ii) η θερμοκρασία T_q .

Η **θερμοκρασία T_a** κατά EN 60598-1 είναι η μέγιστη θερμοκρασία στην οποία το φωτιστικό μπορεί να λειτουργήσει υπό κανονικές συνθήκες χωρίς να αλλοιωθεί κάποιο γενικό κατασκευαστικό χαρακτηριστικό του. Η θερμοκρασία αυτή μπορεί να αυξηθεί στην πράξη έως και 10°C από τη δηλωθείσα θερμοκρασία T_a . Όταν η θερμοκρασία T_a είναι 25°C δεν υπάρχει η ανάγκη για δήλωση της επάνω στο φωτιστικό.

Η **θερμοκρασία T_q** (ποιότητα – quality) κατά IEC 62722 είναι μια νέα παράμετρος που υποδηλώνει την υψηλότερη ονομαστική θερμοκρασία T_a για την οποία εξασφαλίζεται κάποιο ποιοτικό χαρακτηριστικό του φωτιστικού, για παράδειγμα η διατήρηση της φωτεινής ροής, χαρακτηριστικά φωτισμού κ.α. Για το ίδιο φωτιστικό μπορούν να οριστούν περισσότερες της μίας θερμοκρασίας T_q για διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά

- $L_{80B_{10}}$ @ 60.000 ώρες @ T_q 35°C
- $L_{90B_{10}}$ @ 60.000 ώρες @ T_q 25°C
- $T_q \leq T_a$ Η θερμοκρασία T_a στις παραπάνω περιπτώσεις μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την T_q , δηλαδή π.χ. 55°C

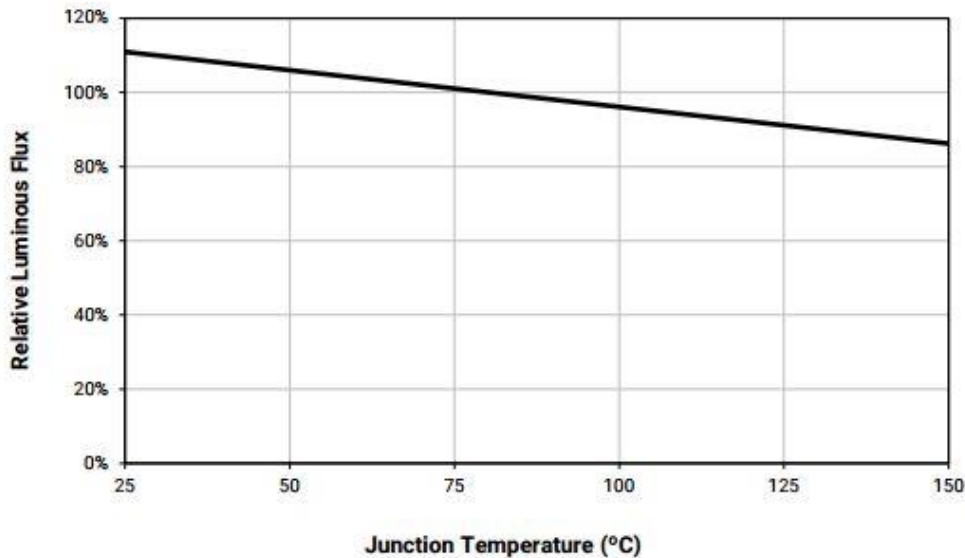
Η φωτεινή ροή των φωτιστικών ορίζεται στους $T_a=T_q=25^{\circ}\text{C}$. Για να βρεθεί η φωτεινή ροή σε άλλες θερμοκρασίες, οι κατασκευαστές πρέπει να δίνουν συσχέτιση της ποσοστιαίας μεταβολής $\Phi(\%)$ ανά βήμα μεταβολής της θερμοκρασίας σε $^{\circ}\text{C}$ ώστε να γίνεται η αναγωγή στην επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας.



2.5. Θερμική διαχείριση των φωτιστικών σωμάτων LED

2.5.1. Οπτική μονάδα LED

Τα φωτιστικά σώματα LED μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε φως. Μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία δεν πρέπει να δεσμεύεται εντός του φωτιστικού, αλλά αυτή πρέπει να απάγεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται η βέλτιστη θερμική διαχείριση του φωτιστικού.



Σχήμα 3 Η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας T_j και απόδοσης φωτεινής ροής @350mA – Cree XP-G2

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ωφέλιμη περίοδο ζωής των οπτικών μονάδων LED είναι κατά βάση δύο και είναι άμεσα συνδεδεμένοι με την ανάγκη για αποτελεσματική θερμική διαχείριση:

- **Ρεύμα οδήγησης (I_f , mA)**

Το ρεύμα οδήγησης καθορίζεται με βάση τις απαιτήσεις για απόδοση φωτεινής ροής από τα LED. Όσο υψηλότερο ρεύμα οδήγησης επιλέγεται, τόσο περισσότερη φωτεινή ροή εκπέμπεται από τα LED, αλλά ταυτόχρονα μειώνεται η ωφέλιμη διάρκεια ζωής τους. Ταυτόχρονα, όταν επιλέγονται υψηλά ρεύματα οδήγησης, μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στη σωστή θερμική διαχείριση, καθώς έχουμε ανάγκη για απαγωγή μεγαλύτερων θερμικών φορτίων.

- **Θερμοκρασία πυρήνα – Junction Temperature (T_j , °C)**

Η θερμοκρασία διεπαφής στην ψηφίδα των LED ή θερμοκρασία πυρήνα είναι εκείνη η θερμοκρασία που καθορίζει το επίπεδο λειτουργίας των LED σε θέματα απόδοσης και οφέλους ζωής. Η θερμοκρασία T_j , λόγω του γεγονότος ότι δεν μπορεί να μετρηθεί απευθείας, υπολογίζεται έμμεσα μέσω της μέγιστης

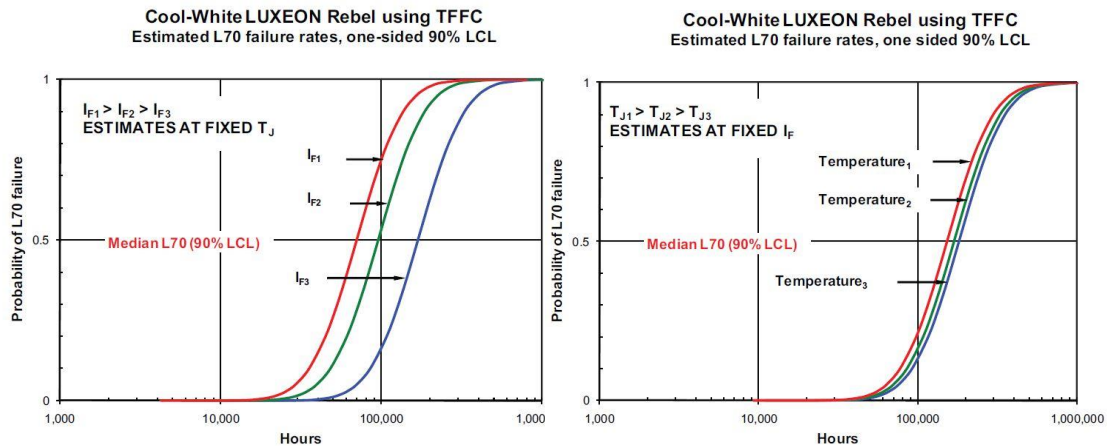
θερμοκρασίας T_{sp} (Solder Point Temperature) ή T_c και της μέγιστης θερμικής αντίστασης (R_j).

Στο Σχήμα 3, φαίνεται η σχέση της θερμοκρασίας T_j και της απόδοσης σε φωτεινή ροή ενός τύπου LED. Γίνεται αντιληπτό πως για σταθερό ρεύμα οδήγησης η αύξηση της θερμοκρασίας T_j επηρεάζει αρνητικά την απόδοση των LED σε φωτεινή ροή. Κατά συνέπεια, η θερμική διαχείριση του φωτιστικού έχει στόχο να διατηρεί τη θερμοκρασία T_j εντός των προβλεπόμενων κατασκευαστικών ορίων.

Η αδυναμία σωστής θερμικής απαγωγής οδηγεί σε μεγαλύτερες τοπικές θερμοκρασίες εντός του φωτιστικού, το ύψος των οποίων εξαρτάται από τη θερμική σχεδίαση. Η θερμοκρασία εντός του φωτιστικού επηρεάζει την απόδοση των LEDs, τη διάρκεια ζωής τους, όπως επίσης και τη διάρκεια ζωής των υπόλοιπων εξαρτημάτων και ιδίως του driver.

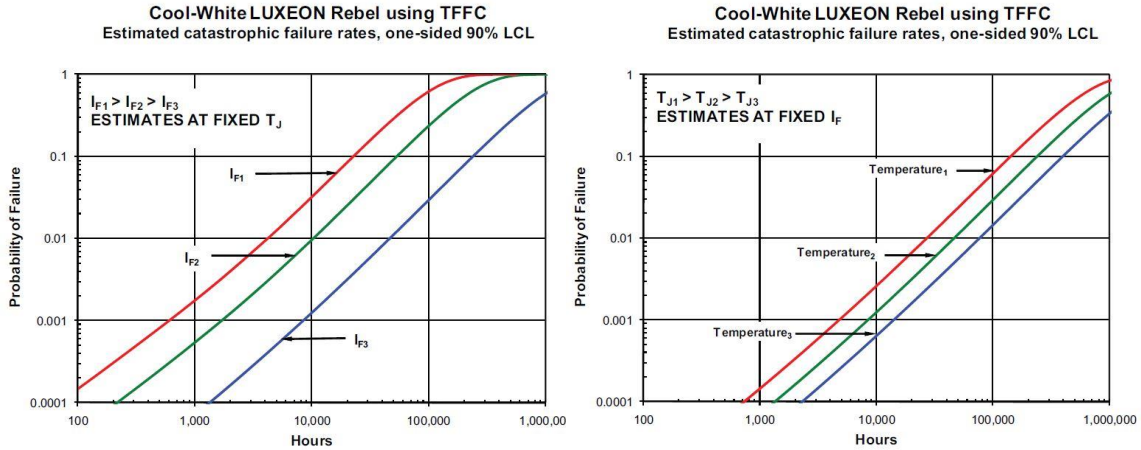
Εκτός των LED, με την αύξηση της θερμοκρασίας πρόβλημα μπορούν να αντιμετωπίσουν και τα υπόλοιπα υλικά που απαρτίζουν την οπτική μονάδα όπως οι φακοί, οι βάσεις των LED κλπ., με συνέπεια η σωστή απαγωγή της θερμότητας να αποτελεί αδήριτη ανάγκη.

Ο συνδυασμός της σωστής θερμικής διαχείρισης, δηλαδή μικρότερες τιμές θερμοκρασίας T_j και κυρίως των όχι πολύ υψηλών ρευμάτων οδήγησης οδηγούν σε ευνοϊκότερες προβλέψεις για την διάρκεια ζωής των LEDs, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4 Σχέση ωφέλιμης ζωής L_{70} για διαφορετικά ρεύματα οδήγησης των LEDs (αριστερά) και για διαφορετικές θερμοκρασίες T_j (δεξιά). (Τύπος LED: LUXEON Rebel)





Σχήμα 5 Σχέση ωφέλιμης ζωής L70 για διαφορετικές θερμοκρασίες T_j των LEDs.

Η αύξηση της θερμοκρασίας T_j των LEDs και τα υψηλά ρεύματα οδήγησης μπορούν επίσης να επιδράσουν σημαντικά στην αύξηση της πιθανότητας καταστροφικού σφάλματος των LED, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού στο χώρο της οπτικής μονάδας, οφείλουν να διατηρήσουν τη θερμοκρασία των LED σε ελεγχόμενα επίπεδα, τα οποία θα είναι συμβατά με τα άνω επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή των LED και ταυτόχρονα να περιορίζονται στα ασφαλή χαμηλά όρια ώστε να μειώνεται σημαντικά η πιθανότητα καταστροφικών σφαλμάτων.

Τα συστήματα μείωσης της φωτεινής ροής σε περίπτωση υπερθέρμανσης των LED μπορούν να αποτρέψουν μια στιγμιαία ανωμαλία ενός καλά σχεδιασμένου φωτιστικού, δεν μπορούν να θεωρούνται όμως μέθοδος αντιστάθμισης μιας κακής θερμικής σχεδίασης, καθώς δεν επιτρέπουν στο φωτιστικό να λειτουργεί υπό τις ονομαστικές του τιμές.

2.5.2. Τροφοδοτική μονάδα – Driver

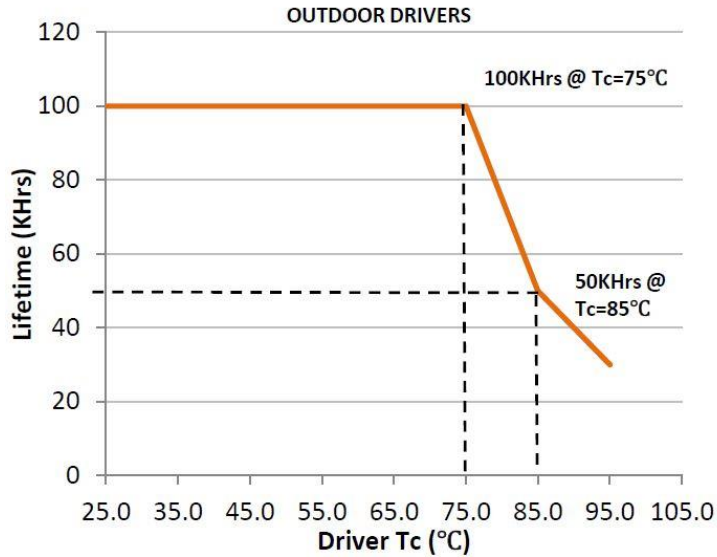
Ο driver είναι η συσκευή η οποία τροφοδοτεί με σταθερό **I** ρεύμα τα LED ώστε αυτά να πολώνονται με σκοπό την εκπομπή φωτός. Ένα κύριο χαρακτηριστικό των drivers, όλων των κατασκευαστών, είναι ότι **εκπέμπουν θερμότητα**. Στα ηλεκτρονικά υπάρχει ο άτυπος κανόνας των «10 βαθμών» βάσει του οποίου για κάθε 10 βαθμούς που μειώνεται η θερμοκρασία λειτουργίας, μπορεί να διπλασιάζεται η διάρκεια ζωής του εξαρτήματος.

Παρόλο που ο παραπάνω κανόνας υπεραπλουστεύει μια πολυσύνθετη εξίσωση μεταξύ της θερμοκρασίας και των δεικτών MTBF (Mean Time Between Failures) των ηλεκτρονικών, καταδεικνύει τη σημασία του ελέγχου της θερμοκρασίας για τη ζωή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Σε ένα σωστά σχεδιασμένο φωτιστικό σώμα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο η θερμότητα που εκπέμπεται από τα LED αλλά επίσης και η θερμότητα που εκπέμπεται από τον



driver, ώστε να διασφαλιστεί η σωστή συνολική θερμική διαχείριση. Επιπρόσθετα, η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να λειτουργήσει ο driver πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι συμβατή με τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται εντός του φωτιστικού και αυτό πρέπει να ελέγχεται και να πιστοποιείται από τον κατασκευαστή του φωτιστικών.



Σχήμα 6 Επίδραση θερμοκρασίας σε προσδοκώμενη διάρκεια ζωής.

2.6. Σταδιακή εξασθένηση της φωτεινής ροής / Ωφέλιμη περίοδος LED

Η ωφέλιμη περίοδος των LED δεν ταυτίζεται μόνο με το σημείο του αιφνίδιου καταστροφικού σφάλματος. Μέχρις ενός σημείου, η πλειονότητα των LED δεν παρουσιάζει καθόλου καταστροφικά σφάλματα ενώ παράλληλα παρατηρείται σταδιακή απομείωση της εκπεμπόμενης φωτεινής τους ροής. Συμπερασματικά, η ωφέλιμη διάρκεια ζωής των LED, των δομικών μονάδων PCB – LED και των φωτιστικών, είναι εκ των πραγμάτων καθορισμένη από τα ενδεχόμενα καταστροφικά σφάλματα των LED και από την πτώση της φωτεινής τους ροής κάτω από τα ελάχιστα ορισμένα επίπεδα.

Στην περίπτωση των LED δύο είναι οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν την μακροζωία τους, η θερμοκρασία που αναπτύσσουν και η διαχείριση της καθώς και το ρεύμα οδήγησης με το οποίο ο driver τα τροφοδοτεί.

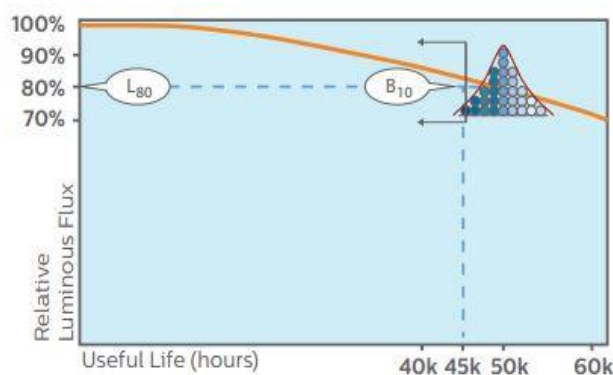
Το πρότυπο δοκιμών LM 80-08 και η έκθεση TM-21 βάσει της οποίας γίνεται η πρόβλεψη της διατήρησης της φωτεινής ροής των LED, αποτελεί το κυρίαρχο εργαλείο της αγοράς φωτισμού. Με βάση το πρότυπο LM80 ο κατασκευαστής των LED δοκιμάζει τα LED σε τρεις θερμοκρασίες T_{sp} (solder point temperature):

1. 55°C
2. 85°C
3. Δηλώνεται από τον κατασκευαστή των φωτιστικών σωμάτων

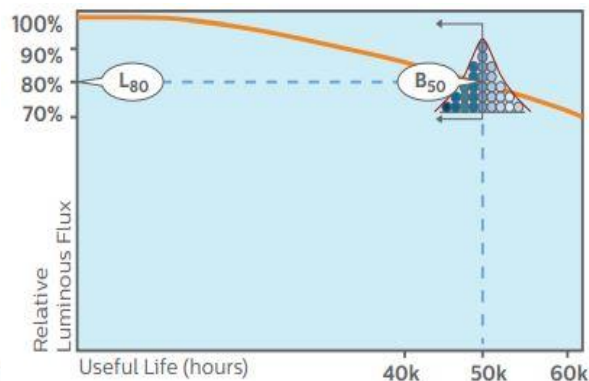
Σε συνδυασμό με το IEC 62717 Ed1 η χρήσιμη ζωή των LED των φωτιστικών σωμάτων εκφράζεται με το δείκτη L_xB_y και δείχνει το χρόνο εκείνο για τον οποίο το $y\%$ του πληθυσμού αποτυγχάνει να αποδώσει το $x\%$ της διατήρησης της αρχικής φωτεινής ροής. Ο δείκτης L_x δηλώνει ότι τα φωτιστικά αυτού του τύπου διατηρούν το $x\%$ της αρχικής φωτεινής τους ροής. Συμπερασματικά, με την τεχνική προδιαγραφή $L_{80}B_{10}$ @100.000 ώρες, ο κατασκευαστής δηλώνει πως το 90% των φωτιστικών θα διατηρήσουν το 80% της αρχικής φωτεινής ροής για χρονικό διάστημα 100.000 ωρών.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης B , τόσο πιο «χαλαρά» όρια μπαίνουν σε μια ομάδα φωτιστικών ορισμένου πλήθους, για να θεωρηθεί επιτυχημένη η δοκιμή. Με άλλα λόγια η διάρκεια $L_{80}B_{50}$ @50.000 ώρες δεν είναι ίδια με τη διάρκεια $L_{80}B_{10}$ καθώς στο πρώτο θεωρείται επιτυχία όταν 50% των φωτιστικών διατηρήσουν το 80% της φωτεινής ροής, ενώ στη δεύτερη περίπτωση επιτυχία είναι όταν το 90% των φωτιστικών επιτύχουν το συγκεκριμένο ποσοστό διατήρησης της φωτεινής ροής.

Στο Σχήμα 7 φαίνεται ένα παράδειγμα φωτιστικού για το οποίο ο κατασκευαστής του έχει δηλώσει $L_{80}B_{50}$ @50.000 ώρες, η αντίστοιχη διάρκεια $L_{80}B_{10}$ είναι μικρότερη και στο συγκεκριμένο παράδειγμα 45.000 ώρες. Το πόσο πιο μεγάλη θα είναι η διαφορά εξαρτάται από την ποιότητα και το είδος των LED που χρησιμοποιούνται, τη θερμοκρασία, κ.α.



Σχήμα 7 Γραφική αναπαράσταση για $L_{80}B_{10}$ @45.000 h

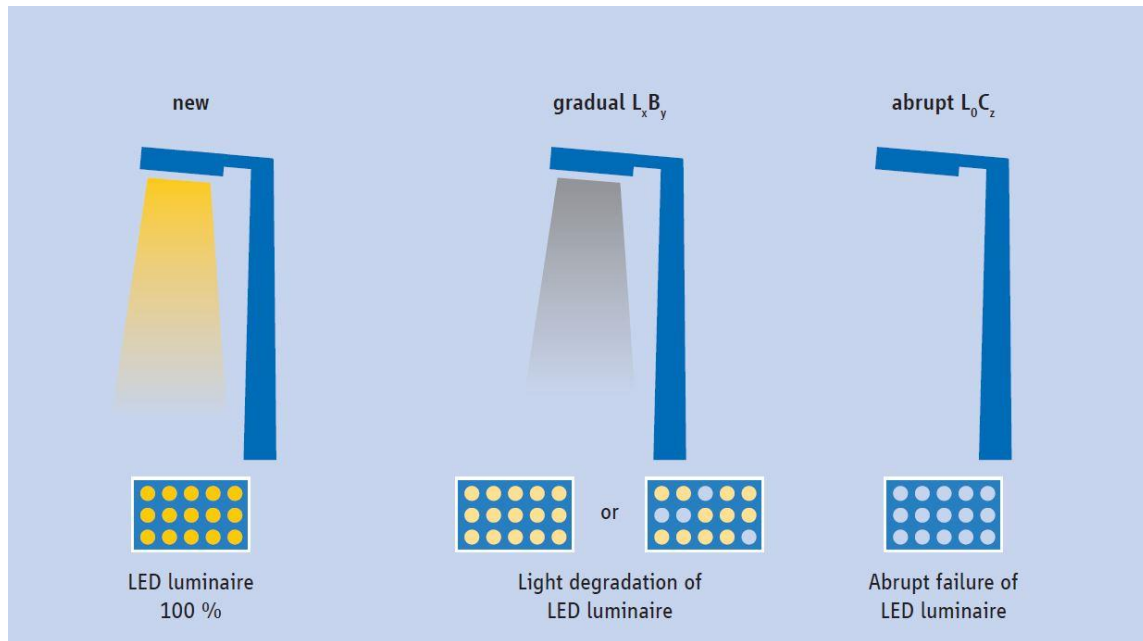


Σχήμα 8 Γραφική αναπαράσταση για $L_{80}B_{50}$ @50.000 h



2.7. Καταστροφικά σφάλματα

Εκτός της σταδιακής απομείωσης της φωτεινής ροής των LED υπάρχει και η περίπτωση του αιφνίδιου καταστροφικού σφάλματος (abrupt light output degradation) όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

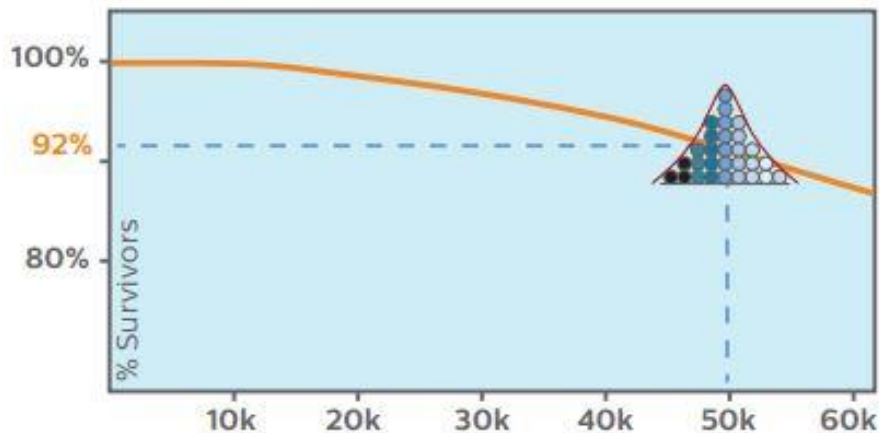


Σχήμα 9 Η απόδοση του φωτιστικού με το πέρασμα του χρόνου.

Στα πρότυπα IEC η πρόβλεψη της διάρκειας ζωής των LED βασίζεται τόσο στην πρόβλεψη της ωφέλιμης ζωής όσο και στον παράγοντα του καταστροφικού σφάλματος.

Αυτός εκφράζεται μέσω του δείκτη **L_0C_z**

Για παράδειγμα, το L_0C_5 υποδηλώνει την περίοδο εκείνη στην οποία 5% του υπό εξέταση πληθυσμού φωτιστικών θα έχει υποστεί καταστροφικό σφάλμα σε κάποιο ή κάποια από τα κρίσιμα εξαρτήματα του.



Σχήμα 10 Προσέγγιση καταστροφικού σφάλματος – ανάλυση σε όλο το φωτιστικό

Ωστόσο, η βιομηχανία φωτισμού δεν έχει καταλήξει ακόμα σε συμφωνία για το ποια εξαρτήματα του φωτιστικού θα πρέπει να συνυπολογίζονται στο συγκεκριμένο δείκτη, επομένως ο δείκτης δεν έχει αρχίσει να εκδίδεται από τους κατασκευαστές για το σύνολο των εξαρτημάτων των φωτιστικών, παρά μόνο για τις οπτικές πηγές LED που περιέχουν. Μελέτες και επιτροπές έχουν συσταθεί προς αυτή την κατεύθυνση. Προσεγγίσεις όμως φυσικά μπορούν να διενεργηθούν από τον κάθε κατασκευαστή ή διανομέα, αρκεί να βασίζονται σε επιστημονικές μεθόδους που είναι ευρέως αποδεκτές. Οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν αρχικά να πραγματοποιούνται για τους drivers.

Η απόδοση των φωτιστικών σωμάτων θα μπορούσε συμπερασματικά να ζητείται ως συνάρτηση της απόδοσης των $L_x B_y C_z$ για το διάστημα στο οποίο ο σχεδιαστής φωτισμού ή η δημοτική αρχή έχει ορίσει ως επιθυμητή ωφέλιμη ζωή.

Για παράδειγμα: $L_{80} B_{10} C_1 = 100.000$ ώρες

- Τα LED θα έχουν διατηρήσει τουλάχιστον το 80% της αρχικής φωτεινής ροής στο διάστημα των 100.000 ωρών
- 10% του πληθυσμού δεν έχει καταφέρει να εκπληρώσει την απαίτηση $L_{80} @ 100.000$ ώρες
- 1% έχει υποστεί καταστροφικό σφάλμα στα LED στο διάστημα των 100.000 ωρών.

3. Σύνοψη

Ανάγκη για διαχρονική απόδοση

Σκοπός του παρόντος είναι να αποτελέσει ένα σύντομο επεξηγηματικό κείμενο πάνω σε επιλεγμένα βασικά τεχνικά ζητήματα που απασχολούν καθημερινά όλους τους εμπλεκόμενους φορείς στην ελληνική αγορά φωτισμού. Τα φωτιστικά σώματα LED που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά φωτισμού και ιδιαίτερα στην εξιδεικευμένη αγορά του οδικού και αστικού φωτισμού κρίνονται συχνά χρησιμοποιώντας λανθασμένα κριτήρια και πολλές φορές βασικοί παράμετροι αξιοπιστίας αγνοούνται ή/και δεν εξετάζονται.

Οι παράγοντες αξιοπιστίας που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός φωτιστικού σώματος LED είναι πολύπλευροι και συχνά τα καταστροφικά σφάλματα προκύπτουν λόγω της κακής σχεδίασης τόσο των φωτιστικών σωμάτων όσο και των επιμέρους εξαρτημάτων. Η αξιολόγηση, επομένως, των φωτιστικών δεν πρέπει να γίνεται με βάση το αρχικό κόστος επένδυσης ή μια απλή και επιφανειακή ανάγνωση τεχνικών προδιαγραφών, αλλά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι παράμετροι που αφορούν την αξιοπιστία και το κόστος συντήρησης του φωτιστικού σε βάθος χρόνου, δηλαδή το συνολικό κόστος κτήσης.

Συνοψίζοντας μερικά από τα πιο σημαντικά ζητήματα αξιοπιστίας των φωτιστικών σωμάτων LED είναι :

- **Η διατήρηση της φωτεινής ροής των LED ($L_x B_y$)** που εξάγεται από τα LM80 και TM-21 ενός φωτιστικού. Η διατήρηση της φωτεινής ροής δεν είναι η διάρκεια ζωής του φωτιστικού, αλλά εκφράζει μόνο την οπτική μονάδα των LED. Βρίσκεται σε άμεση σχέση με το ρεύμα οδήγησης και τη θερμοκρασία T_{sp} . Πρέπει πάντα να δίνεται σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος που αυτό επιτυγχάνεται, δηλαδή ονομαστικά στους 25°C.
- **Η θερμοκρασία λειτουργίας T_a** του φωτιστικού αποτελεί τη θερμοκρασία ασφαλείας και όχι τη θερμοκρασία δήλωσης επιδόσεων, δηλαδή τη θερμοκρασία T_a .
- **Η θερμική σχεδίαση** του φωτιστικού αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα μακροζωίας του συστήματος. Τόσο τα LED όσο και ο driver ευθύνονται εξίσου για την εκπομπή θερμότητας, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η απαγωγή της θερμότητας του καθενός, αλλά και να μηδενίζεται η αλληλεπίδραση τους. Στα ποιοτικά φωτιστικά οδοφωτισμού, ο driver είναι σε εντελώς ξεχωριστό τμήμα σε σχέση με την οπτική πηγή των LED. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται τόσο η θερμική απομόνωση των LED και του driver, αλλά και η προφύλαξη της πηγής σε περίπτωση ανοίγματος για συντήρηση του driver.
- **Τα φωτιστικά σώματα πρέπει να είναι επισκευάσιμα**, δηλαδή η οπτική πηγή να μπορεί να αφαιρεθεί σε περίπτωση αναβάθμισης ή κάποιου σφάλματος.
- **Οι τιμές B_y** εκφράζουν το ποσοστό των φωτιστικών που βρίσκεται εντός των προδιαγραφών L_x . **Προτείνεται πως σε εφαρμογές οδοφωτισμού πρέπει να**



Ζητείται τιμή B₁₀. Σε γενικές εφαρμογές όπως εσωτερικός φωτισμός ή άλλου είδους φωτισμού μπορεί να ζητείται B₅₀.

- **Οι δείκτες καταστροφικών σφαλμάτων L₀C_z** που αφορούν την οπτική μονάδα των LED πρέπει να εξετάζονται και να απαιτούνται από τους κατασκευαστές / προμηθευτές. Τα σφάλματα αυτά είναι πάντα σε συνάρτηση του ρεύματος οδήγησης και της θερμοκρασίας T_{sp} των LED, την οποία διατηρεί ο κατασκευαστής των φωτιστικών με τη θερμική σχεδίαση του φωτιστικού του.
- **Δείκτες αξιοπιστίας των drivers (όπως FITs, MTBF)** μπορούν να ζητούνται και να αξιολογούνται ώστε να επαληθεύεται η αξιοπιστία των συσκευών σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες λειτουργίας T_c.
- **Τα δεδομένα από τα LM-80 και TM-21** πρέπει να συνδυάζονται με συγκεκριμένες αναφορές στο ρεύμα οδήγησης που χρησιμοποιείται και στη θερμοκρασία T_{sp} που αναπτύσσεται στα LED, ώστε να εκφραστούν με ασφάλεια αυτά που δηλώνει ο κατασκευαστής των φωτιστικών.
- **Χρήση φωτομετρικών αρχείων από διαπιστευμένα φωτομετρικά εργαστήρια κατά ISO 17025 για την έκδοση των ηλεκτρονικών αρχείων EULUMDAT, δηλαδή διαπίστευση για μετρήσεις LM-79.** Αξιόπιστα ακόμη μπορούν να θεωρηθούν ηλεκτρονικά αρχεία από αναγνωρισμένης αξίας πανεπιστημιακούς φορείς αρκεί οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται βάσει του LM – 79 και να υπάρχει σαφής δήλωση του προϊόντος που εξετάζεται.

Η αξιοπιστία του κατασκευαστή μπορεί να γίνει αντιληπτή από το πλήθος των στοιχείων που προσκομίζει ώστε να γίνεται φανερή η απόδειξη της συμμόρφωσης του προϊόντος του με τα λεγόμενα του στα εμπορικά φυλλάδια.

Για την αποφυγή άδικων συγκρίσεων, δηλαδή αυτών μεταξύ κατασκευαστών/προμηθευτών με πραγματικά στοιχεία και κατασκευαστών/προμηθευτών με μη ρεαλιστικά – μη εμπεριστατωμένα στοιχεία, έμφαση θα πρέπει να δίνεται στην αξιολόγηση της αξιοπιστίας όλων των εταιρειών, ώστε να υπάρχει σαφής διαχωρισμός των ποιοτικών λύσεων και να σταματήσει η επέλαση μη αξιόπιστων και μη πιστοποιημένων λύσεων φωτισμού.

Συντάκτης

Δημήτρης Τ. Νικολάου
CTO @ ILS

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.