ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ LED ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

Κωνσταντίνος Α. Μπουρούσης, Δημήτριος Τ. Νικολάου, Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Εργαστήριο Φωτοτεχνίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
e-mail: bouroussis@gmail.com

Περίληψη

Η τεχνολογία διόδων φωτεινής εκπομπής (LED) και η δυναμική είσοδος τους ως κυρίαρχη τεχνολογία φωτισμού τα τελευταία χρόνια, προσδίδει μια νέα δυναμική στη βιομηχανία φωτισμού τόσο σε θέματα σωστής σχεδίασης του, όσο και στο γεγονός πως ο φωτισμός μπορεί εύκολα να προσαρμόζεται στις εκάστοτε ανάγκες και συνθήκες. Ο συνδυασμός φωτιστικών οδοφωτισμού τύπου LED με συστήματα κεντρικής διαχείρισης προσφέρει τη δυνατότητα προσαρμογής του φωτισμού βάσει των κριτηρίων του προτύπου EN13201 αλλά και λοιπών τοπικών συνθηκών. Με αυτή τη νέα τεχνολογία προκύπτουν και νέες προκλήσεις όσο αφορά στην εκτέλεση μετρήσεων για επαλήθευση και βελτιστοποίηση των εγκαταστάσεων οδοφωτισμού. Σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό ενός έργου οδοφωτισμού είναι η εκτέλεση εργαστηριακών μετρήσεων των φωτομετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των φωτιστικών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς και η διερεύνηση του συσχετισμού αυτών κατά τη ρύθμιση της εκπεμπόμενης φωτεινής ροής προσφέρουν τη δυνατότητα για πλήρη αξιοποίηση των συστημάτων ελέγχου και τη βελτιστοποίηση των παρεχόμενων λύσεων. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται η μεθοδολογία μετρήσεων και υπολογισμών που διεξάγονται σε εργαστηριακό περιβάλλον οι οποίες μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν μετρήσεις της μεταβολής της φωτεινή ροής διαφόρων δειγμάτων φωτιστικών, της μεταβολής της θερμοκρασίας σε διάφορα τυποποιημένα σημεία εντός και εκτός του φωτιστικού σώματος, μετρήσεις ηλεκτρικών χαρακτηριστικών για τα ανωτέρω επίπεδα φωτεινής ροής συμπεριλαμβανομένης της ισχύος, του συντελεστή ισχύος και της αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος κ.λπ.

Λέξεις-Κλειδιά: LED, οδοφωτισμός, βελτιστοποίηση, εργαστηριακές μετρήσεις

Abstract

Keywords: word 1, word 2, word 3

1. Εισαγωγή

Η εισαγωγή της τεχνολογίας των διόδων εκπομπής φωτός (LED) ήταν μια σημαντική ανακάλυψη που βοήθησε την τεχνολογία φωτισμού να μειώσει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας στις εγκαταστάσεις φωτισμού, καθώς και το αέριο του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τις υπάρχουσες συμβατικές πηγές φωτισμού. Στην Ευρώπη, το ποσοστό του φωτισμού στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικό δεδομένου ότι αντιπροσωπεύει το 14% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας [Almeida et al. (2014)]. Στην Ευρώπη, η επιταχυνόμενη διείσδυση της τεχνολογίας των LED θα

συμβάλει στην επίτευξη των στόχων της ΕΕ 20-20-20 για την ενεργειακή απόδοση. Σε περίπτωση που η υιοθέτηση του φωτισμού σταθερής κατάστασης (Solid State Lighting - SSL) φθάσει το 100%, θα έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η συμμετοχή του φωτισμού στο 4% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ. Εκτός από τη υψηλή ενεργειακή απόδοση, τα LED σε συνδυασμό με τα κεντρικά συστήματα διαχείρισης (CMS) και τη δυναμική ρύθμιση της φωτεινής ροής με αισθητήρες φωτισμού, κίνησης και παρουσίας μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας (Escobar et al. 2014, Lian et al. 2012, Lau et al. 2013, Lau et al 2014, Castro et al 2013, CELMA 2011). Η αναθεωρημένη οδηγία CEN/TR 13201-1:2014 έχει θέσει το πλαίσιο για τα συστήματα ρύθμισης φωτεινής ροής κάτι που μπορεί να εφαρμοσθεί σε νέες εγκαταστάσεις ή περιπτώσεις ανακαίνισης υποδομών φωτισμού. Παρέχει τις μεθόδους επιλογής εναλλακτικών κλάσεων φωτισμού που επιτρέπουν κατά συνέπεια την ρύθμιση φωτεινής ροής των φωτιστικών (dimming) LED ανάλογα με τις κρίσιμες λειτουργικές παραμέτρους της εγκατάστασης, όπως η φωτεινότητα περιβάλλοντος, ο όγκος κυκλοφορίας κλπ. Το ΕΛΟΤ ΕΝ 13201-5 εισήγαγε τη μέθοδο υπολογισμού των δεικτών ενεργειακής επίδοσης στις εγκαταστάσεις οδοφωτισμού. Το πρότυπο εισάγει δύο δείκτες, τον δείκτη πυκνότητας ισχύος Dp και τον δείκτη ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας De.

Η λειτουργία των συστημάτων τηλεδιαχείρισης και των αυτόνομων τροφοδοτικών (stand-alone drivers) των LED βασίστηκε αποκλειστικά στα χαρακτηριστικά των drivers χωρίς να εξετάζει τις λειτουργικές παραμέτρους του LED. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα λογισμικά μελετών φωτισμού, όπως το RELUX ή το DIALUX, όσο αφορά τον υπολογισμό των δεικτών ενεργειακής επίδοσης, εξετάζουν μια γραμμική σχέση μεταξύ ισχύος και φωτεινής ροής, λόγω του γεγονότος ότι σήμερα υπάρχουν πολύ περιορισμένες πληροφορίες που είναι διαθέσιμες από κατασκευαστές φωτιστικών σωμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά των φωτιστικών τους σε καταστάσεις dimming. Διαπιστώνεται έλλειψη συνδυασμένων πληροφοριών που είναι διαθέσιμες στους σχεδιαστές φωτισμού. Παρ' όλο που υπάρχουν πρότυπα και προδιαγραφές που ελέγχουν τα αρχικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών LED οδοφωτισμού, δεν υπάρχει επί του παρόντος ευρεία διάδοση πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες dimming και τη συμπεριφορά των φωτιστικών οδών σε συνθήκες προσαρμοστικού φωτισμού.

Ένα πληροφοριακό σύστημα που θα είναι διαθέσιμο σε όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς θα βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος και θα συνδέσει τις πληροφορίες των πηγών LED με εκείνες των drivers των LED ή/και άλλων εξαρτημάτων μέσα στα φωτιστικά σώματα. Οι πληροφορίες θα πρέπει να παρέχονται κατά τρόπο ώστε οι ενδιαφερόμενοι να μπορούν να εκμεταλλεύονται πλήρως τις δυνατότητες dimming των φωτιστικών σωμάτων με αποτέλεσμα τον ορθό υπολογισμό των δεικτών Dp και De καθώς και ακριβέστερες προβλέψεις για το προσδόκιμο ζωής των LED και άλλων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Η παρούσα εργασία αφορά στην διερεύνηση και την ανάπτυξη ενός μοντέλου σύνδεσης μεταξύ της φωτεινής ροής LED και των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών από διάφορα μοντέλα φωτιστικών LED που δοκιμάστηκαν. Στα πλαίσια της έρευνας μετρήθηκαν επίσης άλλες διάφορες κρίσιμες παράμετροι του φωτιστικού για να διερευνηθεί η συνολική συμπεριφορά του φωτιστικού όταν λειτουργούσε υπό καθεστώς dimming. Εξετάστηκαν οι εξαρτήσεις της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος (CCT), της θερμοκρασίας σημείου συγκόλλησης (Tsp) των LED, της θερμοκρασίας κελύφους του driver (Tc) και της διάχυτης θερμοκρασίας (Ta) μέσα στο φωτιστικό. Ο συνδυασμός όλων των μετρήσιμων παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του προφίλ dimming του κάθε φωτιστικού.

2. Δείγματα και μεθοδολογία μετρήσεων

Για το σκοπό της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τρία δείγματα φωτιστικών σωμάτων. Δύο από τα φωτιστικά ήταν ιδίου τύπου (ίδιος κατασκευαστής) με τη διαφορά ότι χρησιμοποιήθηκε διαφορετικός driver ενώ το τρίτο δείγμα ήταν ένας διαιρετικός τύπος φωτιστικού σώματος (διαφορετικός κατασκευαστής). Όλα τα φωτιστικά ήταν φωτιστικά σώματα οδοφωτισμού τεχνολογίας LED. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία των μετρηθέντων φωτιστικών σωμάτων.

Πίνακας 1: Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά δοκιμίων (DUT)

Δείγμα *DUT*	Αριθμός LED	Ρεύμα οδήγησης (mA)	Ονομαστική ισχύς driver (W)	Συνολική ισχύς φωτιστικού (W)
A	64	500	150	99.16
B	64	700	150	141.94
C	66	700	150	140.20

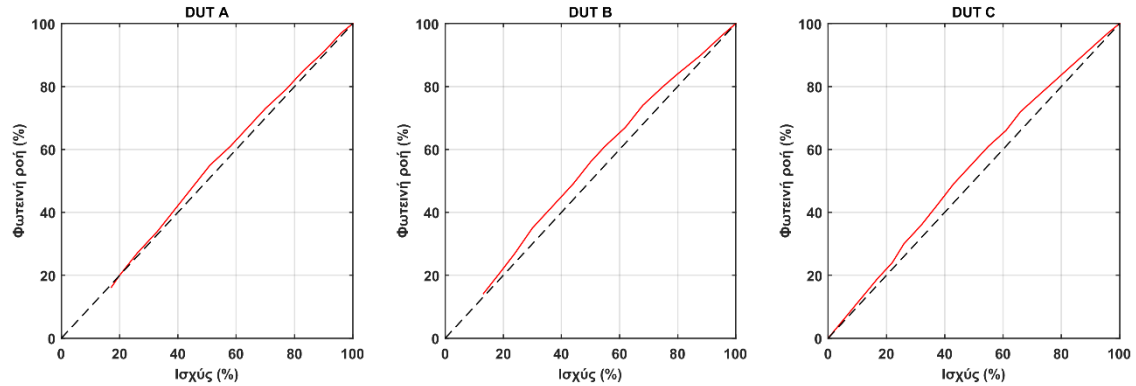
Κάθε φωτιστικό σώμα δοκιμάστηκε ξεχωριστά με χρήση ειδικής πειραματικής διάταξης που δημιουργήθηκε στο Εργαστήριο Φωτοτεχνίας του ΕΜΠ και περιελάβανε τη χρήση των ακόλουθων οργάνων 1) Όργανο μέτρησης έντασης φωτισμού και χρωματικών συντεταγμένων Minolta CL-200A, 2) Τροφοδοτικό AC Kikusui PCR1000M, 3) Τροφοδοτικό DC Kikusui PWR800L, 4) Όργανο μέτρησης θερμοκρασίας, 4 καναλιών ταυτόχρονης μέτρησης, με χρήση ισάριθμων θερμοζευγών, Extech SDL200, 5) Αναλυτής ισχύος FLUKE NORMA 4000

Το κάθε φωτιστικό σώμα ρυθμίστηκε σε ολόκληρο το εύρος φωτεινής ροής μέσω σήματος ελέγχου 1-10VDC. Η ρύθμιση έγινε σε βήματα των 0.5V ενώ οι εκάστοτε μετρήσεις ελήφθησαν έπειτα από σταθεροποίηση ισχύος, φωτεινής ροής και επιμέρους θερμοκρασιών. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος εντός του εργαστηρίου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων κυμάνθηκε από 22.0 έως 23.5^{o}C. Τα μεγέθη που καταγράφηκαν σε κάθε βήμα ελέγχου είναι τα ακόλουθα:

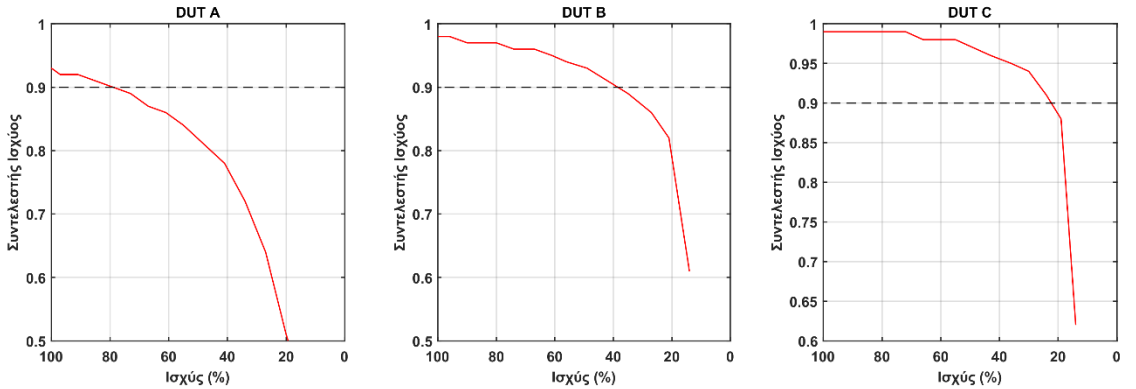
- Ένταση φωτισμού στον αισθητήρα του οργάνου τοποθετημένο σε σταθερή απόσταση από το φωτιστικό σώμα.
- Συνολική ισχύος φωτιστικού σώματος
- Συντελεστής ισχύος
- Αρμονική παραμόρφωση ρεύματος
- Θερμοκρασίες Tc, Tsp και Ta του φωτιστικού σώματος.

3. Αποτελέσματα μετρήσεων

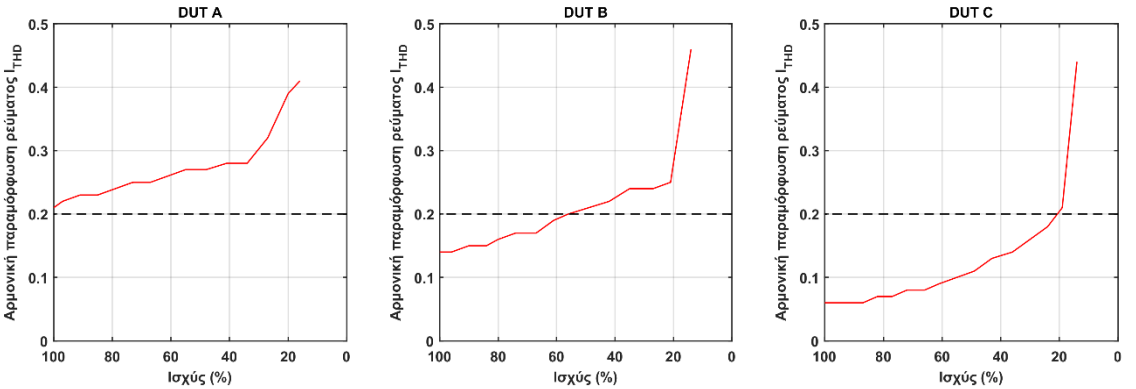
Από τις ληφθείσες μετρήσεις παρήχθησαν ομαδοποιημένα διαγράμματα με τα αποτελέσματα του κάθε μεγέθους για όλα τα φωτιστικά σώματα που ελέγχθηκαν και φαίνονται στα Σχήματα 1-5. Τα διαγράμματα που αφορούν μεταβολή φωτεινής ροής, ισχύος, και θερμοκρασίας χρώματος παρουσιάζονται σε σχετική κλίμακα 0-100% με βάση την τιμή μέτρησης στην ονομαστική κατάσταση λειτουργίας. Οι επιμέρους θερμοκρασίες, η αρμονική παραμόρφωση ρεύματος και ο συντελεστής ισχύος παρουσιάζονται ως απόλυτα αριθμητικά μεγέθη.



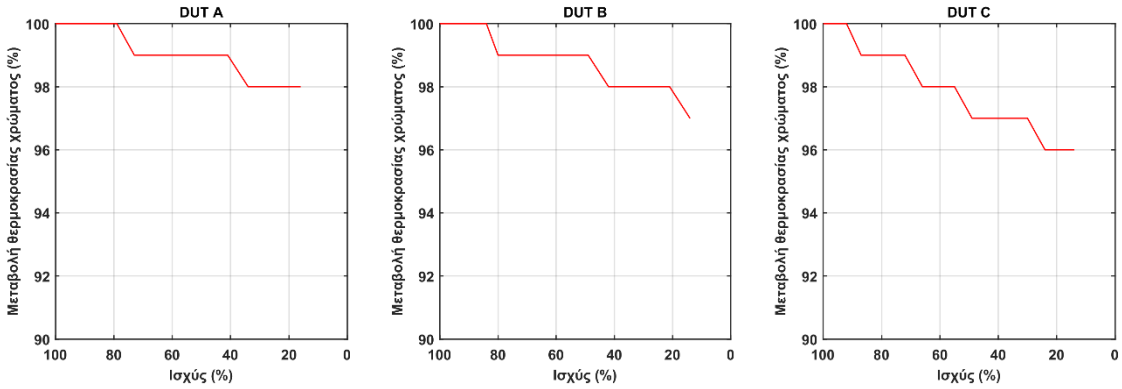
Σχήμα 1: Μεταβολή της φωτεινής ροής του φωτιστικού σώματος συναρτήσει της συνολικής ισχύος του φωτιστικού σώματος. Με διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται η ευθεία x=y.



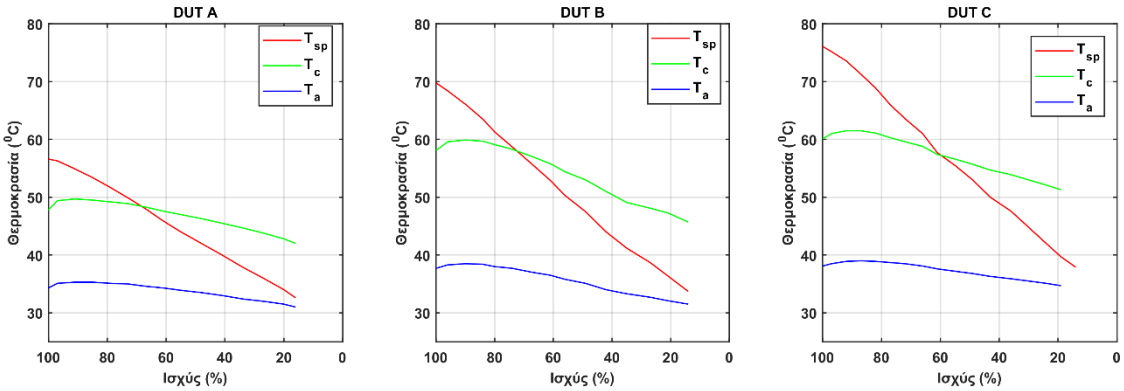
Σχήμα 2: Μεταβολή του συντελεστή ισχύος του φωτιστικού σώματος συναρτήσει της συνολικής ισχύος του φωτιστικού σώματος. Με διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται η ευθεία y=0.9



Σχήμα 3: Μεταβολή της αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος του φωτιστικού σώματος συναρτήσει της συνολικής ισχύος του φωτιστικού σώματος. Με διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται η ευθεία y=0.2 (20%).



Σχήμα 4: Σχετική μεταβολή της θερμοκρασίας χρώματος της πηγής LED συναρτήσει της συνολικής ισχύος του φωτιστικού σώματος.



Σχήμα 5: Μεταβολή των θερμοκρασιών Tsp, Tc και Ta συναρτήσει της συνολικής ισχύος του φωτιστικού σώματος.

4. Παρατηρήσεις

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται, για κάθε δοκίμιο, ο συσχετισμός της μεταβολής της συνολικής φωτεινής ροής του φωτιστικού σώματος σε σχέση με την συνολική ισχύ αυτού. Από τα γραφήματα είναι φανερό ότι στη ρύθμιση της φωτεινής ροής του φωτιστικού σώματος η σχέση ισχύος-φωτεινής ροής είναι μη γραμμική. Η μεταβολή του ποσοστού της ισχύος και της φωτεινής ροής είναι όμοια για τα επίπεδα 80-100% ενώ αντιθέτως, για τα επίπεδα 30-80% περίπου, η σχέση τους είναι εμφανώς μη γραμμική. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι για μείωση της ισχύος του φωτιστικού σώματος κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό, η αντίστοιχη μείωση της φωτεινής ροής είναι σε διαφορετικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, η φωτεινή ροή μειώνεται με μικρότερο ρυθμό από ότι η ισχύς. Για παράδειγμα, σε όλα τα δοκίμια, όταν το φωτιστικό ρυθμίσθηκε στο 50% της αρχικής ισχύος του, η φωτεινή του ροή μετρήθηκε στο 55-60% της αρχικής.

Στις περισσότερες μελέτες (φωτοτεχνικές, ενεργειακές και τεχνοοικονομικές) η σχέση φωτεινής ροής και ισχύος θεωρείτε ως γραμμική αγνοώντας αυτή τη διαφορά. Αυτό μεταφράζεται σε ένα ποσοστό περίπου 5% κατά μέσο όρο σε φωτεινή ροή που δεν λαμβάνεται υπ' όψη ή στην περίπτωση της ισχύος, σε επιπρόσθετη ισχύ περίπου 5% που μπορεί να εξοικονομηθεί κατά τη μελέτη ενεργειακής απόδοσης ενός συστήματος οδοφωτισμού.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μη γραμμικότητα στη σχέση ισχύος και φωτεινής ροής επηρεάζει τη λειτουργική συμπεριφορά του συστήματος σε καταστάσεις dimming και τις μελέτες προσαρμοστικού φωτισμού ενώ δεν επηρεάζει τη λειτουργία σε κανονικές συνθήκες κανονικής (100%) και τις αρχικές φωτοτεχνικές μελέτες στις ονομαστικές κλάσεις φωτισμού.

Στα Σχήματα 2 και 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αφορούν την ποιότητα της ισχύος των δοκιμίων και κατ' επέκταση ενός θεωρητικού συστήματος οδοφωτισμού που αποτελείται από μερικές χιλιάδες φωτιστικά σώματα ιδίου τύπου. Το Σχήμα 2 αφορά στη μεταβολή του συντελεστή ισχύος (power factor) του δοκιμίου σε σχέση με την συνολική ισχύ σε κάθε κατάσταση dimming, ενώ το Σχήμα 3 τη μεταβολή της αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος (I_{THD}) με τη μεταβολή της συνολικής ισχύος.

Παρατηρείται μία σημαντική πτώση του συντελεστή ισχύος όλων των δοκιμίων όσο περισσότερο μειώνεται η ισχύος του φωτιστικού σώματος καθώς αυτό ρυθμίζεται σε κατάσταση dimming. Το δοκίμιο Α παρουσιάζει πτώση του συντελεστή ισχύος κάτω του 0.9 αρκετά σύντομα (μετά το 80% της ισχύος) ενώ τα αντίστοιχα σημεία για τα δοκίμια Β και C είναι το 40% και το 25 αντίστοιχα. Παράλληλα, η συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του συντελεστή ισχύος, με το δοκίμιο Α να ξεκινά οριακά άνω του 20% ενώ τα δοκίμια Β και C από όλο και χαμηλότερα ποσοστά. Να σημειωθεί ότι ο driver του δοκιμίου Α εσκεμμένα επιλέχθηκε ώστε να μην λειτουργεί υπό το ονομαστικό του φορτίο αλλά να τροφοδοτεί συστοιχία LED μικρότερης ισχύος. Οι drivers των δοκιμίων Β και C λειτουργούσαν υπό σχεδόν το ονομαστικό τους φορτίο.

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα ποιότητας ισχύος εξάγονται δύο σημαντικά συμπεράσματα και συστάσεις. Το πρώτο συμπέρασμα είναι ότι τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούν driver οι οποίοι έχουν διαστασιολογηθεί επαρκώς για τα LED που θα τροφοδοτούν (ονομαστικό φορτίο) παρουσιάζουν ικανοποιητική συμπεριφορά ενώ αντιθέτως ένα φωτιστικό σώματα με driver ονομαστικής ισχύος αρκετά μεγαλύτερης από αυτήν του φωτιστικού σώματος οδηγεί σε μη αποδεκτή συμπεριφορά ποιότητας ισχύος. Επίσης, είναι σημαντικό για έργα οδοφωτισμού με σύστημα τηλεδιαχείρισης, να επιλέγονται φωτιστικά σώματα των οποίων η ποιότητας ισχύος να είναι αποδεκτή και εντός ορίων και προδιαγραφών για το προβλεπόμενο εύρος λειτουργίας. Εναλλακτική προσέγγιση θα αποτελούσε ο καθορισμός του επιτρεπόμενου εύρους dimming του κάθε φωτιστικού σώματος ώστε να πληροί τις εκάστοτε προδιαγραφές ποιότητας ισχύος. Σε κάθε περίπτωση, η μέτρηση των εν λόγω ποιοτικών χαρακτηριστικών θα πρέπει να αποτελεί προαπαιτούμενο για τη χρήση του κάθε τύπου φωτιστικού σώματος.

Στο Σχήμα 4, παρουσιάζεται ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας χρώματος των δοκιμίων κατά τη διαδικασία του dimming. Από τα αποτελέσματα φαίνεται μία αρκετά μικρή πτώση της θερμοκρασίας χρώματος (σε ποσοστό 2-4%) το οποίο αντιστοιχεί σε 100-150K κάτι που είναι ανεπαίσθητο για τον ανθρώπινο οφθαλμό.

Τέλος, στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι μεταβολές τριών τύπων θερμοκρασιών εντός των δοκιμίων σε κάθε επίπεδο ρύθμισης του φωτιστικού σώματος. Οι θερμοκρασίες αυτές, όπως έχουν ορισθεί, αφορούν την πηγή LED, το κέλυφος του driver και τη διάχυτη θερμοκρασία αέρα εντός του χώρου οργάνων των φωτιστικών. Κατά τη μείωση της ισχύος και της φωτεινής ροής του φωτιστικού σώματος παρατηρείται, όπως ήταν αναμενόμενο, πτώση όλων των θερμοκρασιών εντός του φωτιστικού σώματος.

Μεγαλύτερη σε ρυθμό πτώση, και μάλιστα γραμμική, παρουσίασαν τα LED (θερμοκρασία Tsp) τα οποία αποτελούν και τη σημαντικότερη πηγή θερμότητας εντός του φωτιστικού σώματος. Στο δοκίμιο Α στο οποίο το ρεύμα οδήγησης των LED ήταν 500mA η θερμοκρασία Tsp ξεκίνησε από αρκετά χαμηλότερη τιμή σε σχέση με τα δοκίμια Β (Tsp~70^{o}C) και C (Tsp~77^{o}C) στα οποία τα LED οδηγήθηκαν με 700mA. Αυτό φανερώνει την ανάγκη ορθού σχεδιασμού του συστήματος ψύξης του φωτιστικού σώματος σε συνδυασμό με το επιλεγμένο ρεύμα οδήγησης. Σε κάθε περίπτωση, η θερμοκρασία Tsp στο επίπεδο της φωτεινής ροής ~20% έφτασε στα επίπεδα της θερμοκρασίας εντός του χώρου οργάνων (Ta).

Η θερμοκρασία του κελύφους του driver (Tc) παρουσιάζει ηπιότερη πτώση σε σχέση με τα LED ενώ ξεκινά από αρκετά χαμηλότερο σημείο. Αυτό φανερώνει ότι ανεξαρτήτως της ισχύος που τροφοδοτεί τα LED, ο driver λειτουργεί υπό μία σχεδόν σταθερή κατάσταση παράγοντας σχεδόν σταθερή θερμότητα. Ως γενική παρατήρηση, ο driver του δοκιμίου Α, το οποίο λειτουργεί χαμηλότερα από το ονομαστικό φορτίο, παρουσιάζει χαμηλότερα επίπεδα θερμότητας σε σύγκριση με τους άλλους δύο που λειτουργούν υπό ονομαστικό αρχικά φορτίο.

Όσο αφορά τη θερμοκρασία του χώρου των οργάνων (Ta), αυτή παρουσιάζει μία σταθερότητα που οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ο χώρος των οργάνων είναι απομονωμένος από τις μονάδες LED και επηρεάζεται ως επί το πλείστων από την εκπεμπόμενη θερμότητα του driver και λιγότερο από την καθολική θερμότητα του κελύφους του φωτιστικού σώματος.

5. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών έδειξαν τη γενικότερη ανάγκη για τη θέσπιση και εκτέλεση αναλυτικών ηλεκτρικών και φωτοτεχνικών μετρήσεων των φωτιστικών σωμάτων που προορίζονται κυρίως για έργα οδοφωτισμού με τηλεδιαχείριση. Η συμπεριφορά των φωτιστικών σωμάτων σε καταστάσεις ρύθμισης της φωτεινής ροής παρουσιάζουν γενικά μη γραμμική συμπεριφορά ενώ είναι αρκετά πιθανό ότι ορισμένες λειτουργικές τους καταστάσεις να τεθούν εκτός προδιαγραφών (π.χ. ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας). Τόσο η συσχέτιση της φωτεινής ροής και της ισχύος όσο και οι δείκτες ποιότητας ισχύος θα πρέπει να μετρώνται και να τεκμηριώνονται προ της επιλογής του φωτιστικού σώματος για τη διασφάλιση της ποιότητας και ποσότητας του φωτισμού καθώς και της ποιότητας ισχύος της σχεδιαζόμενης εγκατάστασης οδοφωτισμού.

6. Βιβλιογραφία

[1] Almeida D.A and Santos B. and Paolo B. and Quicheron M., "*Solid state lighting review – Potential and challenges in Europe*", Renewable Sustainable Energy Reviews, 34, p.p. 30–48, 2014

[2] Escolar S. and Carretero J. and Marinescu M.C. and Chessa S., "*Estimating Energy Savings in Smart Street Lighting by Using an Adaptive Control System*", International Journal of Distributed Sensor Networks., 10, issue 5, 2014.

[3] Lian L. and Li L.: "Wireless dimming system for LED Street lamp based on ZigBee and GPRS". 3rd International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization, 20 - 21 October 2012, Chengdu

[4] Lau S.P. and Merrett G.V. and White N.M.: "Energy-efficient street lighting through embedded adaptive intelligence". International Conference on Advanced Logistics and Transport, 29-31 May 2013, Sousse

[5] Lau S.P. and Merrett G.V. and Weddell A. S. and White N.M.: “StreetlightSim: A simulation environment to evaluate networked and adaptive street lighting”. 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile, 28-30 August 2014, Bali
[6] Castro M. and Jara A. J. and Skarmeta A. F. G.: “Smart Lighting Solutions for Smart Cities”. 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 25-28 March 2013, Barcelona
[7] ELC/CELMA, The European lighting industry’s considerations regarding the need for an EU green paper on solid state lighting. Brussels: 2011.
[8] ΕΛΟΤ “EN 13201-5 Φωτισμός οδών – Μέρος 5: Δείκτες ενεργειακής επίδοσης” 2016, ΕΛΟΤ.
[9] Cree “X-lamp XP-G2 White LEDs IES LM80 2008 Test Report”, 2015 Cree.
[10] IES “LM80-08: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources”, 2011, IES.
[11] IES “TM-21-11: Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources, 2011, IES.