

**Σχέδιο Κανονισμού Σύνταξης Μελετών Φωτισμού Υπαίθριων Οδικών
Έργων και Σηράγγων - Σχεδιασμός και Ορθή Εφαρμογή**

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	6
2. Κατηγοριοποίηση κλάσης φωτισμού οδών.....	7
2.1 Γενικά περί σχεδιασμού φωτισμού οδών.....	7
2.2 Επιλογή κλάσεων οδοφωτισμού.....	7
2.2.1 Γενικά περί κλάσεων οδοφωτισμού.....	7
2.2.2 Οδοί με κύριους χρήστες μηχανοκίνητα οχήματα (M).....	8
2.2.3 Κλάσεις φωτισμού περιοχών κινδύνου (C).....	11
2.2.4 Οδοί με κύριους χρήστες πεζούς και αργά κινούμενα οχήματα (P).....	16
2.2.5 Κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού.....	17
2.3 Οδηγός καθορισμού κλάσεων οδοφωτισμού.....	18
2.3.1 Οδηγός καθορισμού κλάσεων φωτισμού αυτοκινητοδρόμων και τμημάτων εθνικού οδικού δικτύου.....	18
2.3.2 Οδηγός καθορισμού κλάσεων φωτισμού τυπικών οδών εντός αστικού ιστού.....	20
2.3.3 Παραδείγματα επιλογής κλάσεων, ονομαστικών και προσαρμοστικού φωτισμού.....	23
2.4 Απαιτήσεις κλάσεων οδοφωτισμού.....	27
3. Σχεδιασμός οδοφωτισμού, μελέτες φωτισμού.....	29
3.1 Επιλογή τυπικών γεωμετριών.....	29
3.2 Συντελεστής συντήρησης.....	31
3.3 Λογισμικά μελετών φωτισμού.....	33
3.4 Βελτιστοποίηση σχεδιασμού.....	33
3.4.1 Δείκτης πυκνότητας ισχύος – Power Density Indicator.....	33
3.4.2 Συντελεστής λαμπρότητας.....	34
3.4.3 Δείκτης συνολικής απόδοσης της εγκατάστασης.....	34
3.4.4 Ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης.....	34
3.5 Περιορισμός Φωτορύπανσης και θερμοκρασία χρώματος φωτεινών πηγών.....	35
4. Προδιαγραφές εξοπλισμού.....	36
4.1 Ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές φωτιστικών σωμάτων οδοφωτισμού.....	36
4.1.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φωτιστικού σώματος.....	36
4.1.2 Προστατευτικό κάλυμμα.....	36
4.1.3 Υλικά οπτικής μονάδας.....	36
4.1.4 Λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	37
4.2 Ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές συστημάτων απομακρυσμένου ελέγχου εξωτερικού φωτισμού.....	39
4.2.1 Διαλειτουργικότητα.....	39

4.2.2	Λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	39
5.	Μεθοδολογία λειτουργίας προσαρμοστικού φωτισμού.....	40
5.1	Εισαγωγή.....	40
5.2	Σχεδιασμός έργου προσαρμοστικού φωτισμού.....	41
6.	Έλεγχος συμμόρφωσης εξοπλισμού εγκαταστάσεων οδοφωτισμού.....	41
6.1	Εισαγωγή.....	41
6.2	Εργαστηριακές μετρήσεις.....	42
6.3	Μετρήσεις πεδίου.....	43
6.3.1	Κατηγορίες μετρήσεων πεδίου.....	43
6.3.2	Ορισμός περιοχών μετρήσεων πεδίου.....	44
6.3.3	Όργανα μέτρησης πεδίου.....	47
6.3.4	Μετρήσεις λαμπρότητας (κλάσεις φωτισμού M).....	48
6.3.5	Μετρήσεις έντασης φωτισμού (κλάσεις φωτισμού C και P).....	49
6.3.6	Μέτρηση γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών.....	49
7.	Διεθνείς και ευρωπαϊκές τεχνικές οδηγίες για τον φωτισμό σηράγγων.....	50
7.1	CIE 88 – Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses.....	50
7.2	CIE 189 – Calculation of tunnel lighting quality criteria.....	50
7.3	CEN CR 14380 - Lighting applications - Tunnel lighting.....	50
8.	Απαιτήσεις φωτισμού σηράγγων.....	51
8.1	Διαχωρισμός σηράγγων σε μεγάλου και μικρού μήκους.....	51
8.2	Διερεύνηση ανάγκης χρήσης ημερήσιου φωτισμού (μέθοδος LTP).....	51
8.3	Υπολογισμός μέγιστης εξωτερικής λαμπρότητας L_{20}	54
8.4	Επιλογή κλάσης φωτισμού και συντελεστή k.....	55
8.5	Απαιτήσεις ημερήσιου και νυκτερινού φωτισμού σηράγγων.....	57
8.5.1	Ζώνη κατωφλίου.....	59
8.5.2	Μεταβατική ζώνη.....	59
8.5.3	Εσωτερική ζώνη.....	59
8.5.4	Ζώνη εξόδου.....	60
8.5.5	Ζώνη προσέγγισης και αναχώρησης και φωτισμός νύχτας της σήραγγας.....	60
8.5.6	Ομοιομορφία λαμπρότητας.....	60
8.5.7	Φωτισμός τοιχωμάτων.....	60
8.5.8	Περιορισμός της φωτεινής πάλμωσης και της θάμβωσης.....	61
9.	Προδιαγραφές εξοπλισμού φωτισμού σηράγγων.....	61
9.1	Ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές φωτιστικών σωμάτων φωτισμού σηράγγων.....	61
9.1.1	Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φωτιστικού σώματος.....	61

9.1.2	Προστατευτικό κάλυμμα.....	62
9.1.3	Υλικά οπτικής μονάδας.....	62
9.2	Λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	62
9.2.1	Φωτομετρικά δεδομένα.....	62
9.2.2	Ηλεκτρικά μεγέθη.....	62
9.2.3	Βαθμοί προστασίας από εξωτερικές επιδράσεις.....	62
9.2.4	Συνδεσιμότητα.....	63
9.2.5	Διατήρηση φωτεινής ροής.....	63
9.2.6	Πιστοποιήσεις.....	63
10.	Πρόσθετες απαιτήσεις φωτισμού σηράγγων.....	65
10.1	Φωτισμός εσοχών στάθμευσης (Lay-by).....	65
10.2	Φωτισμός ασφαλείας.....	65
10.3	Φωτισμός εκκένωσης.....	65
10.4	Βαφή τοιχωμάτων, ασφάλτου και στομίου σηράγγων.....	66
11.	Εκπόνηση μελετών φωτισμού σηράγγων.....	67
11.1	Γενικές απαιτήσεις.....	67
11.2	Συντελεστής συντήρησης.....	67
11.3	Χωροθέτηση φωτιστικών σωμάτων εντός της σήραγγας.....	67
11.4	Κυκλώματα φωτισμού και προσαρμοστικός φωτισμός.....	68
11.5	Δυναμικός έλεγχος μέσω εξωτερικών και εσωτερικών μετρητικών διατάξεων.....	69
11.6	Φωτισμός σηράγγων αμφίδρομης κυκλοφορίας.....	69
11.7	Βελτιστοποίηση σχεδιασμού φωτισμού σηράγγων.....	70
12.	Έλεγχος συμμόρφωσης φωτισμού σηράγγων.....	70
12.1	Εισαγωγή.....	70
12.2	Εργαστηριακές μετρήσεις.....	71
12.3	Μετρήσεις πεδίου.....	72
12.3.1	Κατηγορίες μετρήσεων πεδίου.....	72
12.3.2	Ορισμός περιοχών μετρήσεων πεδίου.....	72
12.3.3	Όργανα μέτρησης πεδίου.....	72
12.3.4	Μετρήσεις λαμπρότητας.....	73
12.3.5	Μετρήσεις έντασης φωτισμού.....	73
12.3.6	Μέτρηση γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών.....	74
13.	Πρόβλεψη για τη συμμόρφωση υφιστάμενων εγκαταστάσεων οδοφωτισμού και φωτισμού σηράγγων.....	74
13.1	Εγκαταστάσεις οδοφωτισμού.....	74

13.2	Εγκαταστάσεις φωτισμού σηράγγων.....	74
14.	Συντήρηση κανονισμού.....	75
15.	Βιβλιογραφία.....	76

1. Εισαγωγή

Ο παρών κανονισμός αφορά και καθορίζει τη μέθοδο και τις παραμέτρους σχεδιασμού νέων εγκαταστάσεων φωτισμού οδικών έργων ή και την τροποποίηση - αναβάθμιση – συντήρηση οιαδήποτε στοιχείων υφιστάμενης εγκατάστασης φωτισμού οδικών έργων, κατόπιν αποφάσεων των αρμοδίων φορέων.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση υφισταμένων δικτύων τα όσα προβλέπει ο παρών κανονισμός εφαρμόζονται μεμονωμένα στα επί μέρους στοιχεία της υφιστάμενης εγκατάστασης, τα οποία τροποποιούνται – αναβαθμίζονται - συντηρούνται. Ο μελετητής του έργου σε συνεννόηση με τους αρμόδιους φορείς μεριμνά για την κατά το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή της συνολικής εγκατάστασης στον παρόντα κανονισμό.

Ο παρών κανονισμός καλύπτει από φωτοτεχνικής απόψεως ό,τι αφορά στην τεχνική μελέτη, υλοποίηση και έλεγχο των έργων οδικού φωτισμού.

2. Κατηγοριοποίηση κλάσης φωτισμού οδών

2.1 Γενικά περί σχεδιασμού φωτισμού οδών

Ο παρών κανονισμός, σε ευθυγράμμιση με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 13201, αφορά και καθορίζει ένα σύνολο βημάτων/δράσεων, που πρέπει να εκτελούνται από τον μελετητή, από την αρχή του έργου μέχρι και την υλοποίηση αυτού. Τα απαραίτητα βήματα για τον ορθό και ολοκληρωμένο σχεδιασμό έργων οδοφωτισμού είναι τα εξής:

1. Καθορισμός κλάσεων οδικού φωτισμού που εφαρμόζονται
2. Καθορισμός απαιτήσεων των κλάσεων οδικού φωτισμού
3. Εκπόνηση μελέτης οδικού φωτισμού
4. Υπολογισμός δεικτών ενεργειακής επίδοσης

Ως πρόσθετο βήμα στα ανωτέρω, τίθεται αξιολόγηση της εγκατάστασης φωτισμού μέσω μετρήσεων επί τόπου. Οι μετρήσεις μπορούν δυνητικά να προκαλέσουν (σε ακραίες περιπτώσεις) την ανάγκη επανασχεδίασης του φωτισμού με στόχο τη διόρθωση τυχόν παρεκκλίσεων από τους στόχους.

2.2 Επιλογή κλάσεων οδοφωτισμού

2.2.1 Γενικά περί κλάσεων οδοφωτισμού

Οι κλάσεις φωτισμού, όπως ορίζονται και στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο CEN/TR 13201-1, ομαδοποιούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες: κλάσεις M – Motorized, κλάσεις C - Conflict Areas και κλάσεις P - Pedestrians and pedal cyclists.

Οι κλάσεις φωτισμού της κατηγορίας M (Motorized) επιλέγονται στις περιπτώσεις όπου οι κύριοι χρήστες της οδού είναι μηχανοκίνητα οχήματα και σημασία έχει ο φωτισμός για την ασφαλή οδήγηση. Το κύριο μέγεθος για το οποίο πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί και διενεργούνται οι επιτόπιες μετρήσεις είναι η λαμπρότητα (cd/m^2), που εκφράζει ουσιαστικά το πόσο φωτεινή φαίνεται η άσφαλτος και συγκεκριμένα σε απόσταση 60m μπροστά από το σημείο παρατήρησης. Τέτοιες οδοί είναι κυρίως αυτοκινητόδρομοι (λωρίδες κυκλοφορίας περιλαμβανομένης της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης-ΛΕΑ), το επαρχιακό οδικό δίκτυο, λεωφόροι ή οδοί εντός αστικών περιοχών με σαφή διαχωρισμό της επιφάνειας χρήσης από την επιφάνεια χρήσης άλλων χρηστών, π.χ. με την ύπαρξη πεζοδρομίων, διαχωριστικών νησίδων κ.ά.

Ο καθορισμός των κλάσεων M εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, την κυκλοφοριακή ροή και τις εκάστοτε παραμέτρους χρήσης. Η επιλογή της κατάλληλης κλάσης γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψιν τη λειτουργία της οδού, την ταχύτητα οδήγησης, την κυκλοφοριακή ροή και τις συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου. Σε αυτή την κατηγορία βασικά μεγέθη μέτρησης είναι η λαμπρότητα και ο δείκτης θάμβωσης (TI).

Οι κλάσεις φωτισμού της κατηγορίας C (Conflict Area) επιλέγονται για τις περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται ως περιοχές αυξημένου κινδύνου, όπως σε συγκεκριμένα τμήματα οδικών κόμβων, σε περιοχές διασταύρωσης οδών, σε οδούς με μεγάλη συχνότητα διασταυρώσεων και εντός αστικών κέντρων, όπου συνυπάρχουν πολλές κατηγορίες χρηστών (πεζοί, ποδηλάτες, δίκυκλα και μηχανοκίνητα οχήματα). Το κύριο μέγεθος για το οποίο

πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί και διενεργούνται οι επιτόπιες μετρήσεις είναι η ένταση φωτισμού (I_x), που φανερώνει το ποσό της φωτεινής ροής που πέφτει σε μία επιφάνεια ανεξαρτήτως της κατεύθυνσης θέασης αυτής. Στην κατηγορία αυτή, κύριο ρόλο διαδραματίζει η αναγνώριση των αντικειμένων από όλους τους χρήστες της οδού, από σχετικά κοντινή απόσταση και από πολλαπλές κατευθύνσεις.

Οι κλάσεις C αφορούν γενικά σε περιπτώσεις που ροές οχημάτων διασταυρώνονται μεταξύ τους ή συναντούν περιοχές στις οποίες βρίσκονται άλλοι χρήστες (πεζοί, δίκυκλα, ποδήλατα, λοιποί χρήστες) ή όταν η γεωμετρία της οδού αλλάζει σημαντικά. Η επιλογή τους γίνεται σε αρκετές περιπτώσεις έτσι ώστε το επίπεδο φωτισμού να είναι μεγαλύτερο από αυτό στις οδούς προσέγγισης και να αυξάνουν τη προσοχή στην περιοχή της διασταύρωσης, απαιτώντας μεγάλη ομοιομορφία οριζόντιας έντασης φωτισμού.

Σε κάθε περίπτωση, η περιοχή που κατηγοριοποιείται ως κατηγορία C δε θα πρέπει να έχει κλάση φωτισμού κατηγορίας C μικρότερη από την αντίστοιχη κλάση φωτισμού κατηγορίας M των οδών προσέγγισης (όταν οι οδοί προσέγγισης έχουν κατηγοριοποιηθεί με κλάση της κατηγορίας M).

Οι κλάσεις φωτισμού της κατηγορίας P (Pedestrian & Pedal Cyclists) επιλέγονται στις περιπτώσεις περιοχών κίνησης πεζών, σε περιοχές χαμηλής ταχύτητας κυκλοφορίας οχημάτων ($<40\text{km/h}$), σε περιπτώσεις λωρίδων στάθμευσης, σε τοπικές οδούς εντός πόλεων με σκοπό την εξυπηρέτηση παρόδιων κατοικιών (residential streets), σε σταθμούς στάθμευσης κ.ο.κ. Το κύριο μέγεθος για το οποίο πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί και διενεργούνται οι επιτόπιες μετρήσεις είναι, όπως και στις κλάσεις C, η ένταση φωτισμού (I_x).

2.2.2 Οδοί με κύριους χρήστες μηχανοκίνητα οχήματα (M)

Αφορά στο φωτισμό οδών και περιοχών όπου οι κύριοι χρήστες είναι ως επί το πλείστον μηχανοκίνητα οχήματα, τα οποία κινούνται με χαμηλές, μέσες ή υψηλές ταχύτητες. Το μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης του φωτισμού οδών κλάσης **M** είναι η λαμπρότητα (luminance) οδοστρώματος (σε cd/m^2).

Τα κριτήρια επιλογής των κλάσεων M είναι τα ακόλουθα 8 και λαμβάνονται από την τεχνική έκθεση CEN/TR 13201-1:2014.

Το πρώτο κριτήριο αφορά **στην ταχύτητα σχεδιασμού ή στο όριο ταχύτητας της οδού**. Στην περίπτωση που το όριο ταχύτητας μίας οδού αλλάζει κατά το μήκος αυτής ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση. Η ταχύτητα σχεδιασμού προκύπτει από την εκάστοτε κυκλοφοριακή μελέτη. Το δεύτερο κριτήριο αφορά **στον κυκλοφοριακό όγκο της οδού ως ποσοστό επί της μέγιστης χωρητικότητας**. Διαχωρίζεται όσον αφορά αυτοκινητοδρόμους με πολλαπλές λωρίδες ανά κατεύθυνση ή μικρότερες οδούς. Στην περίπτωση που ο κυκλοφοριακός φόρτος αλλάζει κατά το μήκος αυτής ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το τρίτο κριτήριο αφορά **στη σύνθεση των χρηστών της οδού** δηλαδή αν ο κύριος χρήστης της οδού είναι μηχανοκίνητα, αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες και μίξη αυτών. Στην περίπτωση που η σύνθεση των χρηστών αλλάζει κατά το μήκος αυτής ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το τέταρτο κριτήριο αφορά **στο αν υπάρχει διαχωρισμός των κατευθύνσεων μίας οδού**. Ο διαχωρισμός μπορεί να είναι ένα στηθαίο, μεταλλική μπάρα, φύτευση, τάφος, κ.ο.κ. Στην περίπτωση που ο διαχωρισμός διαφοροποιείται κατά το μήκος της οδού, τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Το πέμπτο κριτήριο αφορά **στην πυκνότητα των κόμβων επί της οδού**. Οι διασταυρώσεις αναφέρονται σε οδούς που συνέρχονται στο ίδιο επίπεδο (ισόπεδοι κόμβοι), ενώ οι ανισόπεδοι κόμβοι αναφέρονται σε ανισόπεδες εισόδους, εξόδους, κλπ. Η πυκνότητα αφορά στα τμήματα υπό μελέτη όταν περιέχουν περισσότερους του ενός κόμβων.

Το έκτο κριτήριο αφορά στην **παρουσία ή όχι σταθμευμένων οχημάτων** στην υπό εξέταση οδό. Σημειώνεται πως στις περιπτώσεις οδών στις οποίες υπάρχουν ατύπως σταθμευμένα οχήματα, δηλαδή σε μη δεσμευμένες και ειδικά διαμορφωμένες θέσεις, τότε θα πρέπει για λόγους ασφάλειας να θεωρείται ότι υφίστανται σταθμευμένα οχήματα.

Το έβδομο κριτήριο αφορά **στο φωτισμό του περιβάλλοντος** της υπό εξέταση οδού. Υψηλός φωτισμός δύναται να προέλθει λόγω μεγάλης πυκνότητας από φωτιζόμενα κτήρια που γειτνιάζουν με την οδό, διαφημιστικές πινακίδες, εμπορικά καταστήματα, αθλητικές και υπαίθριες εγκαταστάσεις φωτισμού κ.λπ. Πρακτικά, ο υψηλός φωτισμός συναντάται στο κέντρο αστικών περιοχών όπου υπάρχει έντονη εμπορική δραστηριότητα.

Ο μέσος περιβάλλον φωτισμός αφορά σε συνήθεις καταστάσεις εντός πόλεων που δεν ανήκουν στην προηγούμενη περίπτωση, ενώ χαμηλός φωτισμός συναντάται συνήθως σε οδούς εκτός αστικού ιστού χωρίς την παρουσία τεχνητού φωτισμού πλην του οδοφωτισμού. Στην περίπτωση που ο περιβάλλον φωτισμός αλλάζει στη διάρκεια της νύχτας (όπως για παράδειγμα μετά το ωράριο λειτουργίας των εμπορικών καταστημάτων) ή κατά το μήκος της οδού, τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Η σύνδεση της περιβάλλουσας φωτεινότητας με τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές ζώνες, καθορίζεται μέσω της ακόλουθης διασύνδεσης / τυποποίησης των ακόλουθων Πινάκων 4 και 5.

Πίνακας 4. Περιβαλλοντικές ζώνες φωτεινότητας σύμφωνα με τον οδηγό ILP GN01:2011

Ζώνη	Φωτισμός περιβάλλοντος	Παραδείγματα
E0	Απόλυτα σκοτεινός	Προστατευόμενες περιοχές UNESCO, IDA dark-sky
E1	Σκοτεινός	Σχετικά μη κατοικημένες αγροτικές περιοχές
E2	Χαμηλού επιπέδου φωτεινότητα	Αραιοκατοικημένες αγροτικές περιοχές
E3	Μεσαίου επιπέδου φωτεινότητα	Πυκνοκατοικημένες αγροτικές και αστικές - ημιαστικές περιοχές
E4	Υψηλού επιπέδου φωτεινότητα	Κέντρο πόλης, κύριος αστικός ιστός, εμπορικές περιοχές με έντονη φωτεινότητα και δραστηριότητα

Πίνακας 5. Αντιστοίχιση περιβαλλοντικών ζωνών και λαμπρότητας υποβάθρου

CEN/TR 13201-1:2014	CIE 150:2017
<i>Low</i>	E2, E1, E0
<i>Moderate</i>	E3
<i>High</i>	E4

Δεν προτείνεται φωτισμός σε περιβαλλοντικές ζώνες Ε0.

Το όγδοο κριτήριο αφορά στη **δυσκολία οδήγησης**, η οποία σχετίζεται με το οπτικό πεδίο του οδηγού και την αναγκαία προσπάθεια που καταβάλει ως αποτέλεσμα των πληροφοριών που του παρουσιάζονται ή και λοιπών μεταβαλλόμενων συνθηκών, ώστε να επιλέξει οδό ή λωρίδα κυκλοφορίας και να διατηρήσει ή να αλλάξει ταχύτητα ή θέση στο οδόστρωμα. Σύμφωνα με τα οριζόμενα στο CIE 100:1992 η δυσκολία οδήγησης μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα επιμέρους επίπεδα:

- Επίπεδο ανάγκης καθορισμού θέσης (positional level). Αντικατοπτρίζει την αναγκαία προσπάθεια του οδηγού να παραμείνει στην σωστή θέση εντός του οδοστρώματος μέσω ρύθμισης της πορείας του ή/και ρύθμισης της ταχύτητας του κ.ο.κ.
- Επίπεδο προσαρμογής τρέχουσας κατάστασης (situational level). Αντικατοπτρίζει τις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να κάνει ο οδηγός ώστε να αντιμετωπίσει αλλαγές στην δομή/γεωμετρία της οδού, της πορείας του, αλλαγές στις καιρικές συνθήκες, αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας της οδού π.χ. εργασίες. Οι ενέργειες αυτές αφορούν σε αλλαγή ταχύτητας, αλλαγή κατεύθυνσης πορείας και θέσης στο δρόμο κ.ο.κ.
- Επίπεδο αναγνώρισης σήμανσης - πληροφοριών (navigational level). Αντικατοπτρίζει την αναγκαία προσπάθεια του οδηγού να ακολουθήσει μια συγκεκριμένα πορεία ώστε να μεταβεί στον επιθυμητό προορισμό, η οποία περιλαμβάνει ανάγνωση κυκλοφοριακών σημάτων και σημάτων προορισμών.

Συνεπώς, πολύ υψηλή δυσκολία οδήγησης παρουσιάζεται σε περιπτώσεις που ο οδηγός καλείται να κατανοήσει πολύπλοκη σήμανση, να οδηγήσει σε οδούς με πολλαπλές εξόδους και εισόδους και σύνθετη δομή, διασταυρώσεις πολλών λωρίδων κυκλοφορίας, κ.λπ. Υψηλή δυσκολία συναντάται στις περιπτώσεις κίνησης σε κυκλικούς κόμβους ή απλές διασταυρώσεις. Η χαμηλή δυσκολία οδήγησης αφορά περιπτώσεις που ο οδηγός θα εκτελέσει μία απλή αλλαγή λωρίδας, αλλαγή στην ταχύτητα του οχήματος, είσοδο, έξοδο κ.λπ. και στην κίνηση σε συγκεκριμένη οδό ή λωρίδα χωρίς αντικειμενικά να απαιτείται κάποια σημαντική προσπάθεια. Στην περίπτωση κατά την οποία η δυσκολία οδήγησης αλλάζει κατά το μήκος της οδού, τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Η τελική επιλογή της κλάσης φωτισμού σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$M = 6 - VWS \quad (1)$$

όπου **M** η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και VWS το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων σύμφωνα τον Πίνακα 6. Από τη σχέση (1) προκύπτουν οι κλάσεις M1, M2, M3, M4, M5 και M6.

Ισχύουν τα ακόλουθα:

- Αν $VWS < 0$ τότε $VWS=0$
- Αν $M \leq 0$ τότε $M=1$ (κλάση M1)

Πίνακας 6. Κριτήρια επιλογής κλάσεων φωτισμού κατηγορίας M

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή		Βάρος
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	v ≥ 100 km/h		2
	Υψηλή	70 < v < 100 km/h		1
	Μέση	40 < v ≤70 km/h		-1
	Χαμηλή	v ≤ 40 km/h		-2
Κυκλοφοριακός όγκος		Αυτοκινητόδρομοι, κατευθύνσεις πολλαπλών λωρίδων	Κατευθύνσεις δύο λωρίδων	
	Υψηλός	> 65 % της μέγιστης χωρητικότητας	> 45 % της μέγιστης χωρητικότητας	1
	Μέσος	35 - 65 % της μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45 % της μέγιστης χωρητικότητας	0
	Χαμηλός	< 35 % της μέγιστης χωρητικότητας	< 15 % της μέγιστης χωρητικότητας	-1
Σύνθεση χρηστών	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη-μηχανοκίνητων			2
	Μεικτή			1
	Μόνο μηχανοκίνητα			0
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι			1
	Ναι			0
Πυκνότητα κόμβων		Διασταυρώσεις / km	Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων κόμβων, km	
	Υψηλή	> 3	< 3	1
	Μέση	≤ 3	≥ 3	0
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα			1
	Απόντα			0
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί, κ.λπ.		1
	Μέσος	Συνήθεις καταστάσεις		0
	Χαμηλός			-1
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ υψηλή			2
	Υψηλή			1
	Χαμηλή			0

Σε περιπτώσεις τμημάτων οδών στα οποία είναι κατ' αρχάς εφαρμοστέες βάσει των ανωτέρω κριτηρίων, οι κλάσεις φωτισμού **M**, αλλά κείνται μεταξύ δύο “περιοχών κινδύνου” (conflict areas, οι οποίες ορίζονται στη συνέχεια) και εφόσον οι δύο αυτές γειτονικές “περιοχές κινδύνου” απέχουν μεταξύ τους απόσταση μικρότερη από την εκάστοτε απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης (stopping distance - SD), τότε θα πρέπει να επιλέγεται και για το ως άνω ενδιάμεσο τμήμα η αντίστοιχη κλάση **C** και όχι η αρχική κλάση **M** που προκύπτει βάσει των ανωτέρω κριτηρίων και βαρών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι τοπικές οδοί εντός αστικών κέντρων ή/και οι συλλεκτήριες οδοί, όπου η συχνότητα των διασταυρώσεων είναι τόσο μεγάλη που πρακτικά οι οδοί αποτελούν μια ενιαία “conflict area”.

2.2.3 Κλάσεις φωτισμού περιοχών κινδύνου (C)

Οι κλάσεις **C** χρησιμοποιούνται σε περιοχές αυξημένου κινδύνου δηλαδή σε περιπτώσεις εμπλοκής δύο ή περισσότερων οδικών ρευμάτων, οδών και χρηστών των οδών. Ο κύριος χρήστης των περιοχών αυτών είναι τα μηχανοκίνητα οχήματα.

Πιο συγκεκριμένα, ως περιοχές κινδύνου ορίζονται οι περιοχές στις οποίες ροές οχημάτων εμπλέκονται μεταξύ τους στο ίδιο επίπεδο, δηλαδή κόμβοι, διασταυρώσεις κ.λπ. ή συναντώνται/διασταυρώνονται ισόπεδα με περιοχές που χρησιμοποιούνται συχνά από άλλου τύπου χρήστες όπως πεζούς, ποδηλάτες κ.ο.κ.

Περιοχές στις οποίες μειώνεται ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας ή μειώνεται το πλάτος λωρίδων ή το συνολικό πλάτος θεωρούνται επίσης περιοχές κινδύνου εκτός από τις περιπτώσεις που αναλύονται στη συνέχεια. Στις περιοχές κινδύνου εμφανίζεται αυξημένη πιθανότητα σύγκρουσης μεταξύ οχημάτων, οχημάτων και πεζών, ποδηλατών με άλλους χρήστες ή αυτοκινήτων με σταθερά εμπόδια, κ.λπ.

Η περιοχή κινδύνου οριοθετείται από την περιοχή που συμβάλουν ή εμπλέκονται οι οδοί επαυξημένη κατά την περιοχή που ορίζεται από την εκάστοτε απόσταση ασφαλούς πέδησης κάθε συμβαλλόμενης οδού.

Για τις περιοχές κινδύνου είναι προτιμητέο να χρησιμοποιείται ως μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης η λαμπρότητα. Αυτό όμως είναι αδύνατο σε περιπτώσεις που οι αποστάσεις θέασης του τυπικού παρατηρητή (οδηγού) είναι μικρές ($< 60\text{ m}$) ή υπάρχουν πολλαπλοί παρατηρητές (από διάφορες κατευθύνσεις, π.χ. διασταυρώσεις, ράμπες εισόδου-εξόδου, κ.λπ. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται ως μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης η ένταση φωτισμού (Illuminance - lx).

Η εφαρμογή της έντασης φωτισμού, ως μέγεθος αξιολόγησης, εφαρμόζεται είτε στα επιμέρους τμήματα της περιοχής κινδύνου, στα οποία δεν είναι δυνατή η χρήση της λαμπρότητας, είτε στην ευρύτερη περιοχή κινδύνου, π.χ. σε ολόκληρο τον οδικό κόμβο (υπό προϋποθέσεις), τη διασταύρωση, κ.λπ.

Η αντιστοίχιση των κλάσεων φωτισμού M και C (λαμπρότητας και έντασης φωτισμού) γίνεται με την ταυτόχρονη εκτίμηση ή γνώση του συνολικού συντελεστή ανακλαστικότητας του οδοστρώματος Q_0 όπως εμφανίζεται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7. Αντιστοίχιση κλάσεων M με C στις περιοχές κινδύνου (conflict areas)

Κλάση φωτισμού M			$M1$	$M2$	$M3$	$M4$	$M5$	$M6$
Κλάση φωτισμού C για $Q_0 \leq 0.05$			$C0$	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$C5$
Κλάση φωτισμού C για $0.05 < Q_0 \leq 0.08$		$C0$	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$C5$	$C5$
Κλάση φωτισμού C για $Q_0 > 0.09$	$C0$	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$C5$	$C5$	$C5$

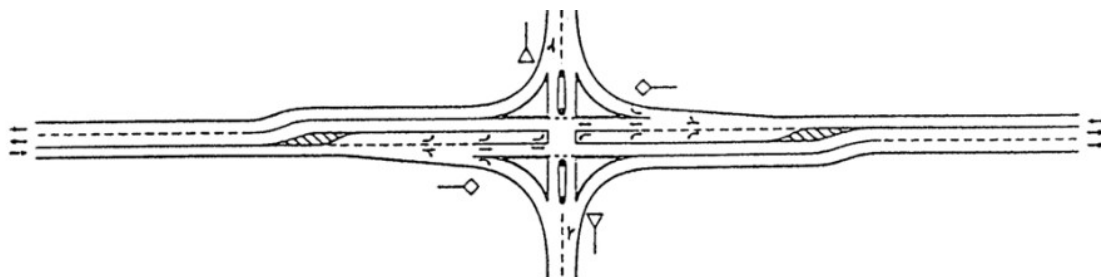
Επειδή οι κλάσεις φωτισμού C έχουν σχεδιασθεί για τους ίδιους χρήστες με αυτούς των κλάσεων M , ο Πίνακας 7 θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον ορισμό των κλάσεων στις περιοχές κινδύνου που ανήκουν σε οδούς για τις οποίες έχει ήδη προηγηθεί ο ορισμός κλάσεων M . Οι περιοχές κινδύνου θα πρέπει να έχουν κλάση όχι μικρότερη από τη μέγιστη κλάση των οδών που συναντώνται. Στις περιπτώσεις αυτές επομένως η κλάση C προκύπτει έμμεσα από τις κλάσεις M των συνερχόμενων οδών.

Στις περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητο, για λόγους επαύξησης της ασφάλειας, ο μελετητής μπορεί να επιλέξει κλάση φωτισμού κατά ένα βήμα ανώτερη από αυτή που προκύπτει από την αντιστοίχιση.

Προς διευκόλυνση των μελετητών προτείνεται, η αύξηση της κλάσης φωτισμού κατά μια μονάδα σε σχέση με την συγκρίσιμη κλάση Μ να εφαρμόζεται σε περιπτώσεις ισόπεδων κόμβων και τμημάτων ανισόπεδων κόμβων όπου υπάρχει πραγματικά ανάγκη λόγω κρίσιμης μεταβολής της γεωμετρίας της οδού και συνολικής αλλαγής του πλάτους της.

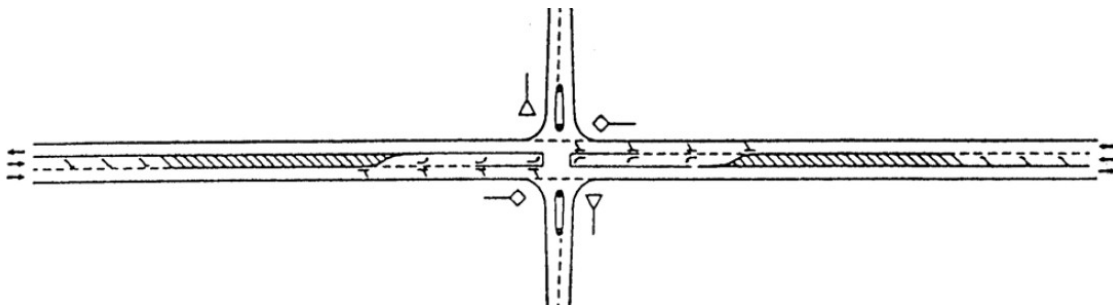
Πιο συγκεκριμένα, βάσει των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) - Τεύχος 2: Διατομές (ΟΜΟΕ-Δ), διακρίνονται οι κάτωθι περιπτώσεις, οι οποίες παρουσιάζονται ενδεικτικά και όχι περιοριστικά.

1. Περίπτωση μη κρίσιμης μεταβολής διατομής του οδοστρώματος τύπου «β2+1» σε ισόπεδο κόμβο (Εικόνα 1). Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν απαιτείται η επαύξηση του επιπέδου φωτισμού της κλάσης C κατά 1 βαθμίδα



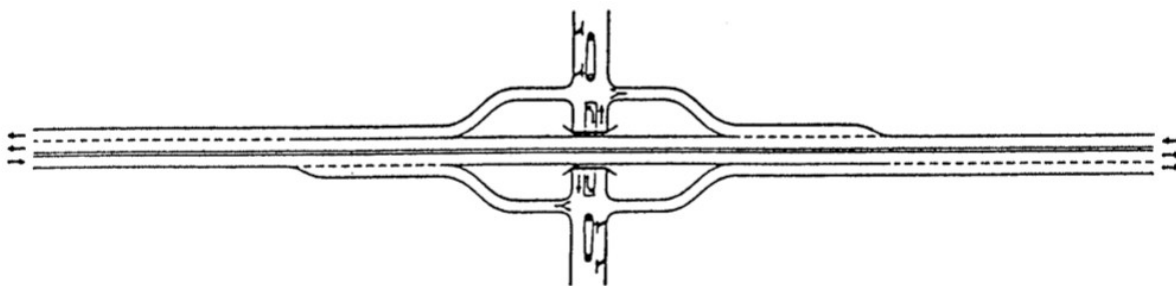
Εικόνα 1. Οδός με μη κρίσιμη μεταβολή διατομής οδοστρώματος β2+1 σε ισόπεδο κόμβο

2. Περίπτωση κρίσιμης μεταβολής διατομής τύπου «β2+1» του οδοστρώματος σε ισόπεδο κόμβο (Εικόνα 2). Στην συγκεκριμένη περίπτωση προτείνεται η επαύξηση του επιπέδου φωτισμού της κλάσης C κατά 1 βαθμίδα



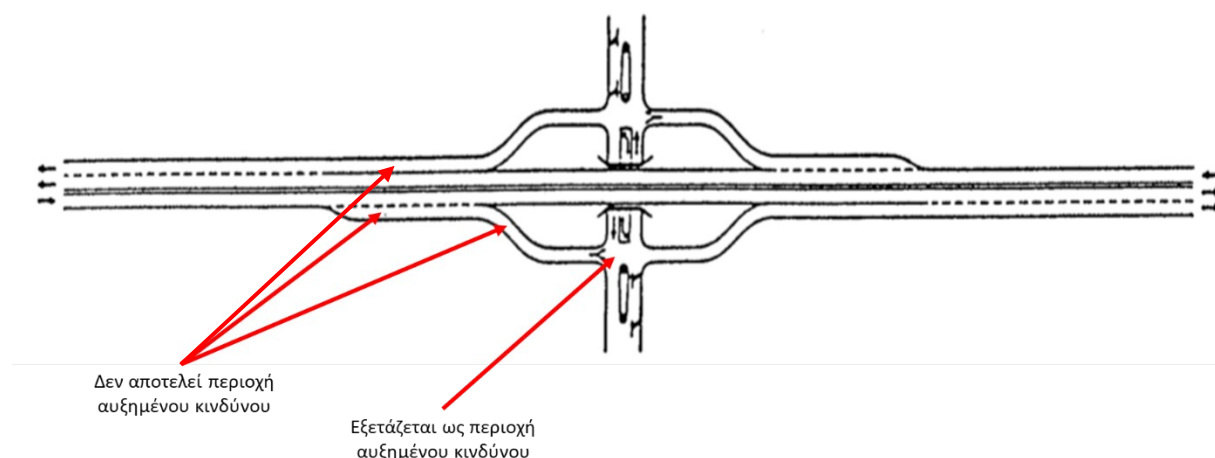
Εικόνα 2. Οδός με κρίσιμη μεταβολή διατομής οδοστρώματος β2+1 σε ισόπεδο κόμβο

3. Περίπτωση μη κρίσιμης μεταβολής διατομής τύπου «β2+1» του οδοστρώματος σε ανισόπεδο κόμβο (Εικόνα 3). Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν απαιτείται η επαύξηση του επιπέδου φωτισμού της κλάσης C κατά 1 βαθμίδα.



Εικόνα 3. Οδός με μη κρίσιμη μεταβολή διατομής οδοστρώματος β_2+1 σε ανισόπεδο κόμβο

Συνεπώς, στις περιπτώσεις των ανισόπεδων κόμβων που συναντώνται συχνά κυρίως σε αυτοκινητόδρομους, η περιοχή κινδύνου που εξετάζεται αναγκαστικά με κλάση C στις περισσότερες των περιπτώσεων, δεν αφορά τις περιοχές των κλάδων εισόδου/εξόδου του αυτοκινητόδρομου, αλλά τις περιοχές ισόπεδης διασταύρωσης, π.χ. κόμβου T, κυκλικής πορείας κ.ο.κ. (Εικόνα 4). Συνέπεια αυτού είναι, οι λωρίδες επιτάχυνσης/επιβράδυνσης να εξετάζονται με κλάση φωτισμού M ίση με αυτή του κυρίως οδικού τμήματος και οι αμιγώς περιοχές κινδύνου να εξετάζονται με κλάση C ίση ή/και μεγαλύτερη της αντίστοιχης κλάσης του κυρίως τμήματος, ανάλογα με την κρισιμότητα μεταβολής της διατομής όπως αναλύθηκε προηγουμένως.



Εικόνα 4. Τυπικές περιοχές κόμβων που θεωρούνται ή όχι περιοχές αυξημένου κινδύνου

Στην περίπτωση που η κλάση φωτισμού C δεν έτερο-προσδιορίζεται μέσω της αντίστοιχης κλάσης M, αλλά πραγματοποιείται χωριστή ανάλυση, τότε για την επιλογή της κλάσης φωτισμού C χρησιμοποιείται η κατωτέρω μεθοδολογία υπολογισμού με βάρη, σύμφωνα με το CEN/TR 13201-1.

Τα κριτήρια επιλογής είναι σε μεγάλο βαθμό όμοια με τα κριτήρια των κλάσεων M. Συγκεκριμένα:

Το πρώτο κριτήριο αφορά **στην ταχύτητα σχεδιασμού ή στο όριο ταχύτητας της οδού**. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που αναλύθηκε για στην κλάση M

Το δεύτερο κριτήριο αφορά **στον κυκλοφοριακό όγκο της οδού ως ποσοστό επί της μέγιστης χωρητικότητας**. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που αναλύθηκε για την κλάση M αλλά χωρίς εξειδίκευση των ποσοστών του φόρτου.

Το τρίτο κριτήριο αφορά στη **σύνθεση των χρηστών της οδού**. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που αναλύθηκε για την κλάση M.

Το τέταρτο κριτήριο αφορά στο αν υπάρχει **διαχωρισμός των κατευθύνσεων μίας οδού**. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που αναλύθηκε για την κλάση M

Το πέμπτο κριτήριο αφορά στην **παρουσία ή όχι σταθμευμένων οχημάτων** στην υπό εξέταση οδό. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που αναλύθηκε για την κλάση M

Το έκτο κριτήριο αφορά στον **φωτισμό του περιβάλλοντος** της υπό εξέταση οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που αναλύθηκε για την κλάση M

Το έβδομο κριτήριο αφορά στη **δυσκολία οδήγησης** που σχετίζεται με το οπτικό πεδίο του οδηγού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που αναλύθηκε για την κλάση M.

Η επιλογή της κλάσης φωτισμού **C** πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης.

$$C = 6 - VWS \quad (2)$$

όπου **C** η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και VWS το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων που προκύπτουν από τον Πίνακα 8. Από τη σχέση (2) προκύπτουν οι κλάσεις C0, C1, C2, C3, C4 και C5.

Ισχύουν τα ακόλουθα:

- Αν $VWS \leq 0$ τότε $VWS=1$
- Αν $C < 0$ τότε $C=0$ (κλάση C0)

Πίνακας 8. Κριτήρια επιλογής κλάσεων φωτισμού κατηγορίας C κατά CEN / TR 13201-1

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή	Βάρος
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100 \text{ km/h}$	3
	Υψηλή	$70 < v < 100 \text{ km/h}$	2
	Μέση	$40 < v \leq 70 \text{ km/h}$	0
	Χαμηλή	$v \leq 40 \text{ km/h}$	-1
Κυκλοφοριακός όγκος	Υψηλός		1
	Μέσος		0
	Χαμηλός		-1
Σύνθεση χρηστών	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη-μηχανοκίνητων		2
	Μεικτή		1
	Μόνο μηχανοκίνητα		0
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι		1
	Ναι		0
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα		1
	Απόντα		0
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί, κ.λπ.	1
	Μέσος	Συνήθεις καταστάσεις	0
	Χαμηλός		-1
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ υψηλή		2
	Υψηλή		1
	Χαμηλή		0

2.2.4 Οδοί με κύριους χρήστες πεζούς και αργά κινούμενα οχήματα (P)

Οι κλάσεις αυτές αφορούν στο φωτισμό περιοχών κυκλοφορίας με κύριους χρήστες πεζούς, ποδηλάτες ή οδών μεικτής χρήσης αλλά ήπιας κυκλοφορίας.

Ο ορισμός των κλάσεων φωτισμού **P** πραγματοποιείται μέσω των κριτηρίων που παρουσιάζονται ακολούθως.

Το πρώτο κριτήριο αφορά **στην ταχύτητα σχεδιασμού ή στο όριο ταχύτητας της οδού**. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιγράφηκε στην κλάση M.

Το δεύτερο κριτήριο αφορά **στον κυκλοφοριακό όγκο της οδού** ως γενική περιγραφή του όγκου. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιγράφηκε στην κλάση M αλλά χωρίς εξειδίκευση των ποσοστών του όγκου.

Το τρίτο κριτήριο αφορά στη **σύνθεση των χρηστών της οδού**. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιγράφηκε στην κλάση M.

Το τέταρτο κριτήριο αφορά στην **παρουσία ή όχι σταθμευμένων οχημάτων** στην υπό εξέταση οδό. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιγράφηκε στην κλάση M.

Το πέμπτο κριτήριο αφορά στον **φωτισμό του περιβάλλοντος** της υπό εξέταση οδού. Το κριτήριο είναι όμοιο με αυτό που περιγράφηκε στην κλάση M.

Πίνακας 9. Κριτήρια επιλογής κλάσεων φωτισμού κατηγορίας P κατά CEN / TR 13201-1

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή	Βάρος
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Χαμηλή	$v \leq 40 \text{ km/h}$	1
	Πολύ χαμηλή (βάδιση)	Ταχύτητα βάδισης	0
Κυκλοφοριακός φόρτος	Υψηλός		1
	Μέσος		0
	Χαμηλός		-1
Σύνθεση χρηστών	Πεζοί, ποδηλάτες και μηχανοκίνητα		2
	Πεζοί και μηχανοκίνητα		1
	Πεζοί και ποδηλάτες		1
	Πεζοί		0
	Ποδηλάτες		0
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα		1
	Απόντα		0
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί, κ.λπ.	1
	Μέσος	Συνήθεις καταστάσεις	0
	Χαμηλός		-1

2.2.5 Κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού

Η παρούσα μεθοδολογία επιλογής κλάσεων φωτισμού με τη χρήση των βαρών, που σχεδιάστηκε από την CIE και υιοθετήθηκε από το CEN, αναπτύχθηκε με στόχο την ευέλικτη επιλογή κλάσεων προσαρμοστικού φωτισμού. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα, όταν το επιτρέπουν οι συνθήκες, μία φωτιζόμενη οδός να αλλάζει κλάση φωτισμού και επομένως απαιτήσεις όσον αφορά τα επίπεδα φωτισμού, την ομοιομορφία κ.λπ. Αυτό προϋποθέτει τον ανάλογο σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού, προκειμένου να έχει τη δυνατότητα των κατάλληλων αντίστοιχων ρυθμίσεων / μεταβολών της φωτεινής ροής.

Η μεταβολή της κλάσης φωτισμού πραγματοποιείται, εφ' όσον ένα ή περισσότερα από τα κριτήρια επιλογής μεταβάλλει το βάρος του κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος φωτισμού. Τα περισσότερα από τα κριτήρια επιλογής όλων των κλάσεων μπορούν να μεταβληθούν, εκτός φυσικά από αυτά που αφορούν κατασκευαστικά στοιχεία όπως η πυκνότητα των κόμβων και ο διαχωρισμός των λωρίδων κυκλοφορίας.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται πολλαπλά επίπεδα φωτισμού κατά τη διάρκεια της νύκτας, τα οποία εξυπηρετούν τις κατά τόπους και κατά ώρες ανάγκες φωτισμού των οδών, προσφέροντας τις βέλτιστες συνθήκες στον οδηγό και διατηρώντας ταυτόχρονα την κατανάλωση ενέργειας και τον περιορισμό της φωτορύπανσης σε βέλτιστα επίπεδα.

Επομένως, κατά την επιλογή των κλάσεων οδοφωτισμού είναι υποχρεωτικό να διερευνάται η δυνατότητα καθορισμού κλάσεων προσαρμοστικού φωτισμού, καθώς και τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία συντελείται η μεταβολή.

Η μέγιστη κλάση M/C/P που προκύπτει μέσω της μεθοδολογίας επιλογής με βάρη, αποτελεί την “ονομαστική κλάση φωτισμού – normal lighting class”, ενώ οι υπόλοιπες κλάσεις που επιλέγονται για ορισμένα χρονικά διαστήματα και αφορούν το ίδιο τμήμα της οδού ονομάζονται “κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού – adaptive lighting classes”.

Διευκρινιστικός Οδηγός και με παραδείγματα επιλογής ονομαστικών κλάσεων και κλάσεων προσαρμοστικού φωτισμού παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

2.3 Οδηγός καθορισμού κλάσεων οδοφωτισμού

2.3.1 Οδηγός καθορισμού κλάσεων φωτισμού αυτοκινητοδρόμων και τμημάτων εθνικού οδικού δικτύου

Το οδικό δίκτυο των αυτοκινητόδρομων και των τμημάτων του εθνικού οδικού δικτύου αποτελεί ένα σαφώς οριοθετημένο και ορισμένο δίκτυο με ξεκάθαρα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και συγκεκριμένες τυπικές διατομές.

Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των αυτοκινητόδρομων, οι οποίοι στο σύνολο τους διαθέτουν προηγμένα συστήματα μέτρησης ή/και πρόβλεψης του κυκλοφοριακού φόρτου, δύναται με ακρίβεια να ορίζεται η κλάση φωτισμού με στατικό ή/και δυναμικά μεταβαλλόμενο τρόπο (Dynamic Adaptive Lighting)

Στις περιπτώσεις αυτού του τύπου των δικτύων θα χρησιμοποιείται η κλάση M για τις περιπτώσεις ανοιχτής οδοποιίας, όπου υπάρχει φωτισμός, και η κλάση C στις περιπτώσεις περιοχών κινδύνου όπως αυτές έχουν οριστεί στην ανωτέρω §2.3

Ειδικότερα, για το κάθε κριτήριο επιλογής της κλάσης φωτισμού ενός αυτοκινητοδρόμου ισχύουν τα ακόλουθα:

α. Ταχύτητα σχεδιασμού.

Το σαφώς ορισμένο όριο ταχύτητας ανά τμήμα του αυτοκινητοδρόμου.

β. Κυκλοφοριακός όγκος

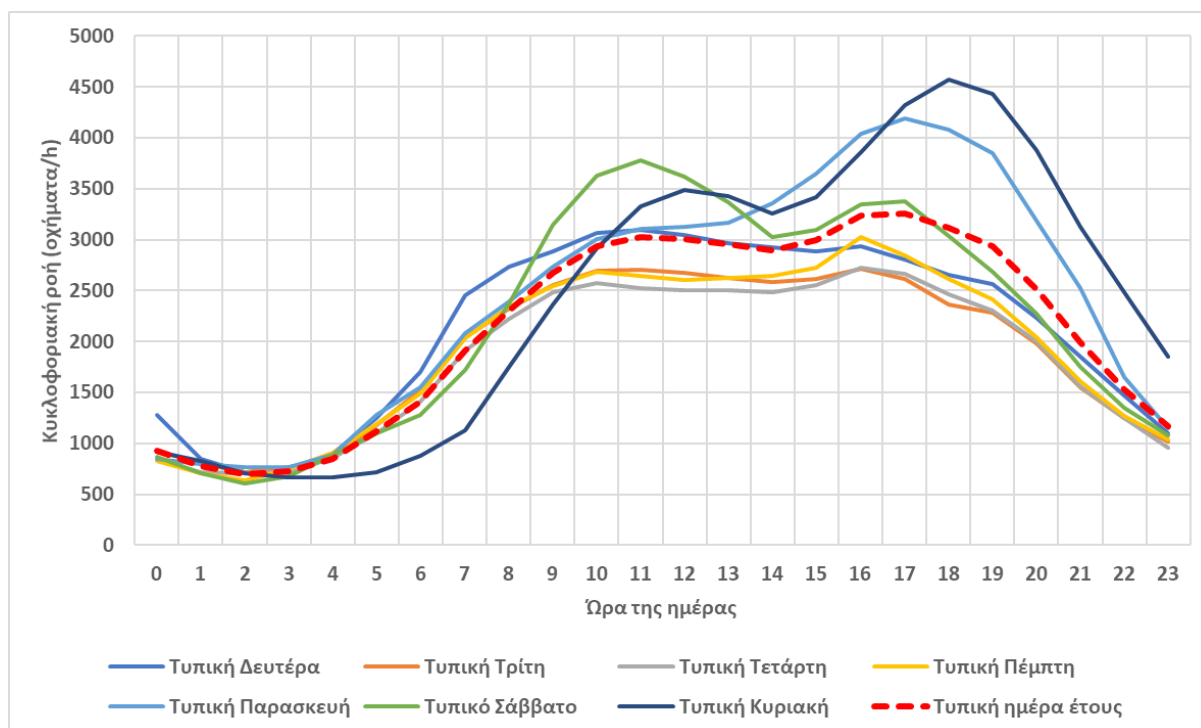
Ο κυκλοφοριακός όγκος των αυτοκινητοδρόμων εξάγεται από τα ιστορικά στοιχεία καταγραφής κυκλοφορίας π.χ. μέσω βρόχων, σταθμών διοδίων κ.λπ. Στην περίπτωση που τα στοιχεία αυτά παρέχονται και άμεσα κατά τη διάρκεια όλου του 24ώρου, το βάρος του κριτηρίου μεταβάλλεται αντίστοιχα.

Η **ονομαστική κλάση φωτισμού** του κάθε τμήματος ενός αυτοκινητόδρομου προκύπτει, από **το ποσοστό της αθροιστικής κυκλοφορίας του εικοσιτετράωρου της τυπικής ημέρας του έτους (ΕΜΗΚ) επί της μέγιστης κυκλοφοριακής χωρητικότητας του υπό μελέτη τμήματος** του αυτοκινητόδρομου (Εικόνα 5 – Τυπική ημέρα έτους). Προκειμένου στον ανωτέρω καθορισμό της ονομαστικής κλάσης να λαμβάνεται υπόψη και ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση του κυκλοφοριακού όγκου, προτείνεται να λαμβάνονται οι αντίστοιχες κυκλοφοριακές προβλέψεις σε βάθος 10ετίας, εφόσον βεβαίως υπάρχουν διαθέσιμες.

Σε περίπτωση που υφίστανται διαφορετικά προφίλ κυκλοφοριακού όγκου ανά ημέρα της εβδομάδας, ή και ανά εποχή, εφόσον επίσης υφίστανται σημαντικές εποχιακές μεταβολές διαρκείας, και εφόσον διατίθενται ιστορικά δεδομένα κυκλοφορίας ανά τυπική ημέρα της εβδομάδας (Εικόνα 5 – Τυπική Δευτέρα έως και τυπική Κυριακή), η ονομαστική κλάση φωτισμού πρέπει να προκύπτει από την **αθροιστική κυκλοφορία του εικοσιτετράωρου της τυπικής ημέρας της εβδομάδας της εποχής με τον μεγαλύτερο κυκλοφοριακό όγκο**.

Ο προσδιορισμός και η εφαρμογή των **κλάσεων προσαρμοστικού φωτισμού**, κατά τις νυχτερινές ώρες λειτουργίας του οδοφωτισμού, θα βασίζονται στις εκάστοτε επικαιροποιημένες μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου, τις προβλέψεις ή και τα δεδομένα καταγραφής της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή από το ποσοστό του κυκλοφοριακού όγκου κατά τις εκάστοτε νυχτερινές ώρες επί της μέγιστης κυκλοφοριακής

χωρητικότητας του τμήματος και για κάθε χρονικό διάστημα Δt όπως φαίνονται στα παραδείγματα της ενότητας 2.3.3.



Εικόνα 5. Παράδειγμα μέσου κυκλοφοριακού φόρτου ανά ημέρα εβδομάδας και για όλο το έτος τμήματος ενός Ελληνικού αυτοκινητοδρόμου

γ. Σύνθεση χρηστών

Η σύνθεση των χρηστών καθορίζεται από τον τύπο του αυτοκινητόδρομου και είναι κατά κανόνα σταθερή. Στην περίπτωση που στατιστικά διαπιστώνεται η μεταβολή της σύνθεσης των χρηστών κατά τη διάρκεια της νύχτας, τότε το βάρος δύναται να μεταβάλλεται αντίστοιχα.

δ. Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας

Το κριτήριο αυτό έχει σταθερό βάρος.

ε. Πυκνότητα κόμβων

Η πυκνότητα των κόμβων υπολογίζεται για το σύνολο του υπό μελέτη τμήματος του αυτοκινητόδρομου.

στ. Σταθμευμένα οχήματα

Στους ελληνικούς αυτοκινητοδρόμους κατά κανόνα δεν υφίσταται η στάθμευση οχημάτων επί της οδού. Σημειωτέον επίσης ότι, η περίπτωση της ΛΕΑ δεν αφορά σε προβλεπόμενη στάθμευση.

ζ. Φωτισμός περιβάλλοντος

Ο φωτισμός περιβάλλοντος για τους Ελληνικούς αυτοκινητόδρομους πρέπει να εκτιμάται ανάλογα με την περίπτωση:

- ο **Υψηλός**: Στα τμήματα που διέρχονται ισόπεδα από πυκνό αστικό ιστό με παρακείμενους φωτιζόμενους δρόμους, εμπορικά καταστήματα, αθλητικές εγκαταστάσεις κ.λπ.
- ο **Μέσος**: Στα τμήματα τα οποία διέρχονται ισόπεδα από ημιαστικές περιοχές με σχετικά αραιή δόμηση και ο τεχνητός φωτισμός του περιβάλλοντος αποτελείται από μικρότερες γειτονικές οδούς, οικίες και μικρό ποσοστό εμπορικών καταστημάτων.
- ο **Χαμηλός**: Σε όλα τα τμήματα μεταξύ αστικών περιοχών. Ο περιβάλλον φωτισμός θεωρείται ως χαμηλός και στην περίπτωση που σε ορισμένα μεμονωμένα σημεία ο αυτοκινητόδρομος διέρχεται πλησίον οικισμών.

θ. Δυσκολία οδήγησης

Η δυσκολία οδήγησης, όπως αναλύθηκε στην §2.3, μπορεί να καθορισθεί με πιο εξειδικευμένο τρόπο στους αυτοκινητοδρόμους λόγω των προβλεπόμενων διατομών, σήμανσης και οπτικής καθοδήγησης (Πίνακας 14).

Πίνακας 14 – Δυσκολία οδήγησης ανά τυπικό τμήμα αυτοκινητόδρομου

Περιοχές αυτοκινητόδρομου	Δυσκολία οδήγησης
Ανοιχτό τμήμα (κύριος άξονας)	Χαμηλή
Λωρίδα επιτάχυνσης / επιβράδυνσης	Χαμηλή
Κλάδος εισόδου/εξόδου	Χαμηλή
Ανω/κάτω διάβαση κόμβου	Χαμηλή ¹ /Υψηλή
Περιοχή ισόπεδου κυκλικού κόμβου	Πολύ υψηλή
Περιοχής ισόπεδης διασταύρωσης	Πολύ υψηλή

2.3.2 Οδηγός καθορισμού κλάσεων φωτισμού τυπικών οδών εντός αστικού ιστού

Το οδικό δίκτυο εντός των ελληνικών αστικών κέντρων, στις περισσότερες των περιπτώσεων διακρίνεται από κοινά χαρακτηριστικά, τόσο σε επίπεδο γεωμετρικών, όσο και σε επίπεδο κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών. Στα πλαίσια της κατηγοριοποίησης των οδών σε ευθυγράμμιση με το EN 13201, για την απόδοση των σωστών κλάσεων φωτισμού είναι απαραίτητος ο χαρακτηρισμός τους από πλευράς κυκλοφοριακών δεδομένων. Συνεπώς, και στα πλαίσια του παρόντος κανονισμού επιβάλλεται η σύνδεση της κλάσης φωτισμού και της κατηγορίας της και με την ιδιότητα της οδού βάσει των κυκλοφοριακών της στοιχείων.

Για το σκοπό αυτό, κρίνεται σε κάθε εν λόγω περίπτωση αστικής οδού απαραίτητη, είτε η ύπαρξη κυκλοφοριακής μελέτης, είτε ο χαρακτηρισμός της οδού από πλευράς κυκλοφοριακών δεδομένων, έτσι ώστε να υποδεικνύεται στο μελετητή του οδοφωτισμού η ιδιότητα της οδού για την οποία καλείται να αντιστοιχήσει κλάσεις φωτισμού. Δεδομένων λοιπόν των κοινών χαρακτηριστικών των περισσότερων εν λόγω τυπικών περιπτώσεων, στα πλαίσια του παρόντος κανονισμού παρακάτω δίδονται οδηγίες καθορισμού της κλάσης φωτισμού για τις περιπτώσεις απουσίας κυκλοφοριακής μελέτης.

¹ Εφόσον υπάρχει διαχωρισμός κατευθύνσεων με σιγηαίο ασφαλείας, η δυσκολία οδήγησης θεωρείται χαμηλή.

Για την κάλυψη κατά το δυνατόν όλων των περιπτώσεων οδών εντός αστικών ιστών, στα πλαίσια του παρόντος κανονισμού ακολουθείται η ως κατωτέρω κυκλοφοριακή κατηγοριοποίησή τους βάσει του Πίνακα 1-2 των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) - Τεύχος 2: Διατομές (ΟΜΟΕ-Δ).

Περιπτώσεις οδών εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την πρόσβαση (Εικόνα 6), δηλαδή:

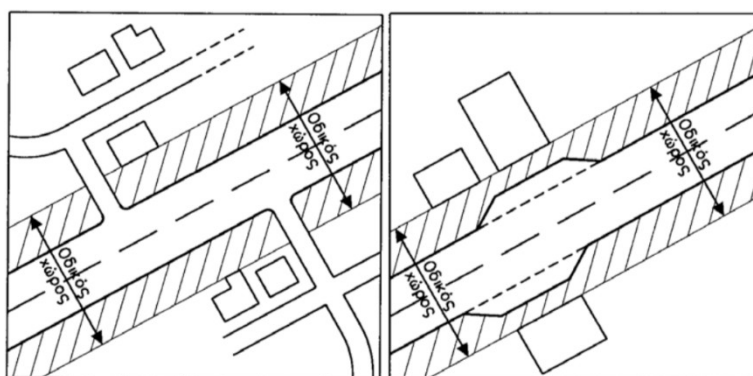
- Τοπικών Οδών (ΔV)
- Συλλεκτήριων (ΔIV)

Περιπτώσεις οδών που διατρέχουν περιοχές εντός ή εκτός σχεδίου (περιαστικές & αστικές περιοχές) με βασική λειτουργία την σύνδεση και με δυνατότητα εξυπηρέτησης των παρόδιων ιδιοκτησιών, δηλαδή περιπτώσεις

- Κύριων Συλλεκτήριων Οδών (ΓIV)
- Αστικών Αρτηριών (ΓIII)

Όλες οι ανωτέρω περιπτώσεις θα μελετώνται απευθείας με κλάσεις C, δεδομένων των κοινών χαρακτηριστικών που διαθέτουν, τα βασικότερα από τα οποία είναι τα εξής:

1. Κατά κανόνα μέση έως χαμηλή ταχύτητα κίνησης.
2. Συχνές ισόπεδες διασταυρώσεις που σε πολλές περιπτώσεις η απόστασή τους είναι μικρότερη από την απόσταση ασφαλούς πέδησης (SD).
3. Περιπτώσεις ατύπως παρκαρισμένων οχημάτων στην μια πλευρά του δρόμου ή ακόμα και στις 2 κατευθύνσεις, αυξάνοντας έτσι την πολυπλοκότητα εγχειρήματος του οδηγού.
4. Εμφάνιση άλλου τύπου χρηστών (πεζοί κ.ο.κ.) εντός του οδοστρώματος λόγω απουσίας διαβάσεων.
5. Άλλα εμπόδια εντός οδοστρώματος όπως κάδοι απορριμμάτων οι οποίοι έχουν μετακινηθεί κ.α.
6. Αυξημένη δυσκολία οδήγησης λόγω συχνών στάσεων του διερχόμενων οχημάτων ή άλλου τύπου χρηστών, δεδομένης της εμπορικής δραστηριότητας που χαρακτηρίζει αυτού του τύπου τους δρόμους.



Εικόνα 6. Περιπτώσεις οδών τύπου Γ&Δ κατά ΟΜΟΕ

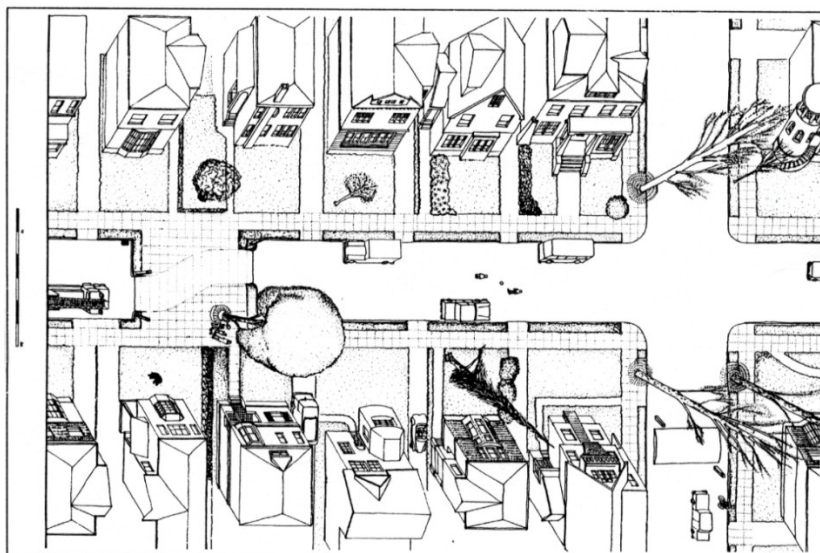
Αντίστοιχα με τις κλάσεις C, διακρίνονται περιπτώσεις εντός του οδικού δικτύου που θα συνδέονται απευθείας με τις κλάσεις P, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους και τον κυκλοφοριακό ρόλο που εξυπηρετούν.

Συγκεκριμένα, οι περιπτώσεις οδών σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την παραμονή, δηλαδή Τοπικές Οδοί τύπου EV, EVI, αποτελούν όλες περιπτώσεις που θα μελετώνται απευθείας με κλάσεις P (Εικόνα 7).

Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις οδών, παρατηρούνται τα εξής κοινά χαρακτηριστικά στις περισσότερες των περιπτώσεων:

1. Εξαιρετικά χαμηλή ταχύτητα κίνησης λόγω μέτρων περιορισμού ταχύτητας (οδοί ήπιας κυκλοφορίας).
2. Εμφάνιση άλλου τύπου χρηστών (πεζοί, ποδήλατα κοκ) εντός του οδοστρώματος.
3. Άλλα εμπόδια εντός οδοστρώματος όπως κάδοι απορριμμάτων οι οποίοι έχουν μετακινηθεί κ.ά.
4. Οδοί που έχουν ως χαρακτηριστικό την παραμονή και εξυπηρετούν παρόδιες ιδιοκτησίες.

Επιπλέον, οδοί σε γειτονίες Δήμων που βρίσκονται εκτός αστικού ιστού με βασική λειτουργία την παραμονή και που εξυπηρετούν σχεδόν αποκλειστικά τους κατοίκους των περιοχών αυτών, θα μελετώνται απευθείας με κλάσεις P.



Εικόνα 7. Περιπτώσεις οδών τύπου E κατά ΟΜΟΕ-1

Όπως προαναφέρθηκε, οι ανωτέρω περιπτώσεις οδών εντός αστικών ιστών παρατίθενται ενδεικτικά και όχι περιοριστικά, με βασικό εν προκειμένω σκοπό την πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σχετικών περιπτώσεων στα πλαίσια του παρόντος κανονισμού, αλλά και με τους παρακάτω ευρύτερους συνολικά στόχους:

1. Κατ' αρχάς όπως ήδη αναφέρθηκε, τη διευκόλυνση των μελετητών σε περιπτώσεις απουσίας κυκλοφοριακών μελετών.
2. Τη διευκόλυνση των μελετητών σε περιπτώσεις ανάγκης διεξαγωγής μαζικών μελετών και ομαδοποιήσεων πολλών περιπτώσεων οδών.
3. Την ομοιομορφία στον μακροσκοπικό σχεδιασμό της εικόνας της πόλης (urban master planning).
4. Τη διευκόλυνση στην αξιολόγηση και στην παρακολούθηση/συντήρηση της εγκατάστασης οδο φωτισμού της πόλης.

2.3.3 Παραδείγματα επιλογής κλάσεων, ονομαστικών και προσαρμοστικού φωτισμού

Στους Πίνακες 10-13 παρουσιάζονται ενδεικτικά παραδείγματα καθορισμού κλάσεων φωτισμού τυπικών περιπτώσεων οδών που συναντώνται στο Ελληνικό οδικό δίκτυο εντός και εκτός πόλεων.

Από τα παραδείγματα αυτά γίνεται φανερό το πώς οι κλάσεις φωτισμού μεταβάλλονται όταν ένα ή περισσότερα κριτήρια μεταβάλλουν το βάρος τους και το συνολικό άθροισμα μεταβληθεί τουλάχιστον κατά μία μονάδα. Τα εμφανιζόμενα χρονικά διαστήματα αφορούν διαστήματα ωρών μεταξύ των οποίων μεταβάλλονται τα βάρη και σαφώς εν γένει δεν αφορούν τις ίδιες ώρες για όλες τις οδούς.

Οι μελέτες οδοφωτισμού θα πρέπει να πραγματοποιούνται με βάση τις ονομαστικές κλάσεις, ενώ συμπληρωματικοί υπολογισμοί θα πρέπει να εκτελούνται για τον ορισμό της ελάχιστης απαιτούμενης φωτεινής ροής από τα φωτιστικά για την επίτευξη της κάθε κλάσης προσαρμοστικού φωτισμού.

Πίνακας 10. Παραδείγματα επιλογής κλάσεων φωτισμού Μ

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή		Οδός 1			Οδός 2	
				Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_1	Δt_2
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100 \text{ km/h}$		2	2	2	2	2
	Υψηλή	$70 < v < 100 \text{ km/h}$						
	Μέση	$40 < v < 70 \text{ km/h}$						
	Χαμηλή	$v \leq 40 \text{ km/h}$						
Κυκλοφοριακός όγκος		Αυτοκινητόδρομοι, κατευθύνσεις πολλαπλών λωρίδων	Κατευθύνσεις δύο λωρίδων					
	Υψηλός	$> 65 \%$ της μέγιστης χωρητικότητας	$> 45 \%$ της μέγιστης χωρητικότητας	1				
	Μέσος	$35 - 65 \%$ της μέγιστης χωρητικότητας	$15\% - 45 \%$ της μέγιστης χωρητικότητας		0		0	
	Χαμηλός	$< 35 \%$ της μέγιστης χωρητικότητας	$< 15 \%$ της μέγιστης χωρητικότητας			-1		-1
Σύνθεση χρηστών	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη-μηχανοκίνητων							
	Μεικτή							
	Μόνο μηχανοκίνητα			0	0	0	0	0
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι							
	Ναι			0	0	0	0	
Πυκνότητα κόμβων		Διασταυρώσεις / km	Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων κόμβων, km					

	Υψηλή	> 3	< 3	1	1	1		
	Μέση	≤ 3	≥ 3				0	0
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα							
	Απόντα			0	0	0	0	0
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί, κ.λπ.		1				
	Μέσος	Συνήθεις καταστάσεις			0	0		
	Χαμηλός						-1	-1
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ υψηλή							
	Υψηλή							
	Χαμηλή			0	0	0	0	0
Άθροισμα βαρών (VWS)				5	3	2	1	0
Κλάση φωτισμού M (6-VWS)				M1	M3	M4	M5	M6

Οδός 1: Τμήμα κλειστού αυτοκινητόδρομου με διαχωριστική νησίδα, εντός του αστικού ιστού με μεγάλη πυκνότητα κόμβων και μεταβαλλόμενο φωτισμό περιβάλλοντος. Ο κυκλοφοριακός όγκος επίσης μεταβάλλεται. Η επιλογή της κλάσης αφορά στα τμήματα μεταξύ των ανισόπεδων κόμβων.

Οδός 2: Τμήμα κλειστού αυτοκινητόδρομου με διαχωριστική νησίδα, εκτός του αστικού ιστού με μικρή πυκνότητα κόμβων, μέσο ή χαμηλό κυκλοφοριακό όγκο και χαμηλό φωτισμό περιβάλλοντος. Η επιλογή κλάσης αφορά στα τμήματα μεταξύ των ανισόπεδων κόμβων.

Πίνακας 11. Παραδείγματα επιλογής κλάσεων φωτισμού M

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή		Οδός 3			Οδός 4	
				Δt ₁	Δt ₂	Δt ₃	Δt ₁	Δt ₂
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	v ≥ 100 km/h						
	Υψηλή	70 < v < 100 km/h					1	1
	Μέση	40 < v < 70 km/h		-1	-1	-1		
	Χαμηλή	v ≤ 40 km/h						
Κυκλοφοριακός όγκος		Αυτοκινητόδρομοι, κατευθύνσεις πολλαπλών λωρίδων	Κατευθύνσεις δύο λωρίδων					
	Υψηλός	> 65 % της μέγιστης χωρητικότητας	> 45 % της μέγιστης χωρητικότητας	1				
	Μέσος	35 - 65 % της μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45 % της μέγιστης χωρητικότητας		0		0	
	Χαμηλός	< 35 % της μέγιστης χωρητικότητας	< 15 % της μέγιστης χωρητικότητας			-1		-1
Σύνθεση χρηστών	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη-μηχανοκίνητων							
	Μεικτή			1	1	1	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα							
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι			1	1	1	1	1
	Ναι							
Πυκνότητα κόμβων		Διασταυρώσεις/km	Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων					

			κόμβων, km					
	Υψηλή	> 3	< 3	1	1	1		
	Μέση	≤ 3	≥ 3				0	0
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα			1	1	1		
	Απόντα						0	0
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί, κ.λπ.						
	Μέσος	Συνήθεις καταστάσεις		0	0	0		
	Χαμηλός						-1	-1
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ υψηλή							
	Υψηλή							
	Χαμηλή			0	0	0	0	0
Αθροισμα βαρών (VWS)				4	3	2	2	1
Κλάση φωτισμού M (6-VWS)				M2	M3	M4	M4	M5

Οδός 3: Αστική λεωφόρος χωρίς διαχωριστική νησίδα μεγάλη πυκνότητα διασταυρώσεων και κυμαινόμενο κυκλοφοριακό φόρτο καθώς και μεταβλητό φωτισμό περιβάλλοντος. Η επιλογή κλάσης αφορά στα τμήματα μεταξύ των διασταυρώσεων.

Οδός 4: Επαρχιακή οδός διπλής κατεύθυνσης χωρίς διαχωρισμό κατευθύνσεων, με αραιές διασταυρώσεις και χαμηλό φωτισμό περιβάλλοντος. Η επιλογή κλάσης αφορά στα τμήματα μεταξύ των διασταυρώσεων κόμβων.

Πίνακας 12. Παραδείγματα επιλογής κλάσεων φωτισμού C

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή	Οδός 5		Οδός 6		
			Δt ₁	Δt ₂	Δt ₁	Δt ₂	Δt ₃
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	v ≥ 100 km/h					
	Υψηλή	70 < v < 100 km/h	2	2			
	Μέση	40 < v < 70 km/h					
	Χαμηλή	v <= 40 km/h			-1	-1	-1
Κυκλοφοριακός όγκος	Υψηλός				1		
	Μέσος		0			0	
	Χαμηλός			-1			-1
Σύνθεση χρηστών	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη-μηχανοκίνητων		2	2			
	Μεικτή				1	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα						
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι		1	1	1	1	1
	Ναι						
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα				1	1	
	Απόντα		0	0			0
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί, κ.λπ.			1		
	Μέσος	Συνήθεις καταστάσεις				0	0
	Χαμηλός		-1	-1			
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ υψηλή						
	Υψηλή						
	Χαμηλή		0	0		0	0
Αθροισμα βαρών (VWS)			4	3	4	2	0

Κλάση φωτισμού C (6-VWS)	C2	C3	C2	C4	C6
--------------------------	----	----	----	----	----

Οδός 5: Διασταύρωση «T» σε επαρχιακής οδό διπλής κατεύθυνσης χωρίς διαχωρισμό κατευθύνσεων και χαμηλό φωτισμό περιβάλλοντος. Η επιλογή κλάσης αφορά την περιοχή που οριοθετείται από την συμβολή των συνερχόμενων οδών προσαυξημένη κατά την απόσταση ασφαλούς πέδησης προς κάθε κατεύθυνση.

Οδός 6: Διασταύρωση «T» οδού στον αστικό ιστό χωρίς διαχωρισμό κατευθύνσεων, με παρουσία ή όχι σταθμευμένων αυτοκινήτων. Η επιλογή κλάσης αφορά την περιοχή που οριοθετείται από τη συμβολή των συνερχόμενων οδών προσαυξημένη κατά την απόσταση ασφαλούς πέδησης προς κάθε κατεύθυνση.

Πίνακας 13. Παραδείγματα επιλογής κλάσεων φωτισμού P

Κριτήριο	Επιλογές	Περιγραφή	Οδός 7		Οδός 8	
			Δt_1	Δt_2	Δt_1	Δt_2
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Χαμηλή	$v \leq 40 \text{ km/h}$	1			
	Πολύ χαμηλή (βάδισμα)	Ταχύτητα βαδίσματος			0	0
Κυκλοφοριακός όγκος	Υψηλός					
	Μέσος		0			
	Χαμηλός			-1	-1	-1
Σύνθεση χρηστών	Πεζοί, ποδηλάτες και μηχανοκίνητα		2	2		
	Πεζοί και μηχανοκίνητα					
	Πεζοί και ποδηλάτες				1	1
	Πεζοί					
	Ποδηλάτες					
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα		1	1		
	Απόντα				0	0
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί, κ.λπ.			1	
	Μέσος	Συνήθεις καταστάσεις	0	0		0
	Χαμηλός					
Άθροισμα βαρών (VWS)			4	2	1	0
Κλάση φωτισμού P (6-VWS)			P2	P4	P5	P6

Οδός 7: Αστική οδός ήπιας κυκλοφορίας με παρουσία σταθμευμένων αυτοκινήτων και μεταβαλλόμενο αριθμό χρηστών.

Οδός 8: Πεζόδρομος με χρήση και από ποδηλάτες εντός αστικού ιστού και σε εμπορική περιοχή με μεταβαλλόμενο φωτισμό περιβάλλοντος.

2.4 Απαιτήσεις κλάσεων οδοφωτισμού

Η κάθε κλάση φωτισμού διέπεται από τις αντίστοιχες απαιτήσεις φωτισμού. Οι απαιτήσεις αυτές καθορίζονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-2 και είναι υποχρεωτικής εφαρμογής. Οι απαιτήσεις είναι τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές. Το βασικό ποσοτικό μέγεθος της κλάσης **M** είναι η **λαμπρότητα L** του οδοστρώματος από τη θέση του τυπικού παρατηρητή

(οδηγού) η οποία υπολογίζεται σε cd/m^2 . Το βασικό ποσοτικό μέγεθος των κλάσεων **C** και **P** είναι η **ένταση φωτισμού E** η οποία υπολογίζεται σε lx. Οι απαιτήσεις φωτισμού της κάθε κλάσης φαίνονται στους Πίνακες 15-17.

Πίνακας 15. Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού M κατά ΕΛΟΤ EN 13201-2:2016

Κλάση	Λαμπρότητα οδοστρώματος για στεγνό και βρεγμένο οδόστρωμα				Δείκτης Θάμβωσης	Φωτισμός όμορων περιοχών
	Στεγνό		Βρεγμένο		Στεγνό	Στεγνό
	L_m (cd/m^2)	U_o	U_l	U_{ow}	f_{TI}	R_{EI}
M1	2.00	0.40	0.70	0.15	10	0.35
M2	1.50	0.40	0.70	0.15	10	0.35
M3	1.00	0.40	0.60	0.15	15	0.30
M4	0.75	0.40	0.60	0.15	15	0.30
M5	0.50	0.35	0.40	0.15	15	0.30
M6	0.30	0.35	0.40	0.15	20	0.30

όπου:

L_m : Μέση τιμή λαμπρότητας οδοστρώματος (κατ' ελάχιστο)

U_o : Ομοιομορφία λαμπρότητας (κατ' ελάχιστο)

U_l : Διαμήκης ομοιομορφία λαμπρότητας (κατ' ελάχιστο)

U_{ow} : Ομοιομορφία λαμπρότητας σε βρεγμένο οδόστρωμα (κατ' ελάχιστο)

f_{TI} : Δείκτης θάμβωσης (μέγιστη τιμή)

R_{EI} : Δείκτης φωτισμού των όμορων της οδού περιοχών (κατ' ελάχιστο)

Πίνακας 16. Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού C κατά ΕΛΟΤ EN 13201-2:2016

Κλάση	Υποχρεωτικές απαιτήσεις		Προαιρετική απαίτηση
	E_m (lx)	U_o	f_{TI} (%)
C0	50.0	0.40	15
C1	30.0	0.40	15
C2	20.0	0.40	15
C3	15.0	0.40	20
C4	10.0	0.40	20
C5	7.50	0.40	20

όπου:

E_m : Μέση τιμή της έντασης φωτισμού στο οδόστρωμα (κατ' ελάχιστο)

U_o : Ομοιομορφία της έντασης φωτισμού (κατ' ελάχιστο)

Πίνακας 17. Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού P κατά ΕΛΟΤ EN 13201-2:2016

Κλάση	Υποχρεωτικές απαιτήσεις		Προαιρετικές απαιτήσεις		
	E_m (lx)	E_{min} (lx)	f_{TI} (%)	$E_{v,min}$ (lx)	$E_{sc,min}$ (lx)
P1	15.0	3.00	20	5.00	5.00
P2	10.0	2.00	25	3.00	2.00
P3	7.50	1.50	25	2.50	1.50
P4	5.00	1.00	30	1.50	1.00
P5	3.00	0.60	30	1.00	0.60
P6	2.00	0.40	35	0.60	0.20
P7	Δεν υπάρχει ποσοτική και ποιοτική απαίτηση				

όπου:

E_m : Μέση τιμή της έντασης φωτισμού στο οδόστρωμα (κατ' ελάχιστο)

$E_{v,min}$: Ελάχιστη τιμή έντασης κατακόρυφου φωτισμού στο οδόστρωμα

$E_{sc,min}$: Ελάχιστη τιμή έντασης ημικυλινδρικού φωτισμού στο οδόστρωμα

E_{min} : Ελάχιστη τιμή έντασης φωτισμού

Για τη διασφάλιση της ομοιομορφίας στις κλάσεις **P**, η τιμή της μέσης έντασης φωτισμού που υπολογίζεται ή μετράται σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 150% της ονομαστικής. Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις της κάθε κλάσης φωτισμού, ο μελετητής οφείλει να συμβουλευέται το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-2.

Σημειώνεται ότι η χρήση της προαιρετικής απαίτησης για τη θάμβωση στις κλάσεις C επαφίεται στην διακριτική ευχέρεια των φορέων των έργων φωτισμού, εφ' όσον κρίνεται σκόπιμο. Επίσης, η χρήση των προαιρετικών απαιτήσεων για τη θάμβωση, την ένταση κατακόρυφου φωτισμού και του ημικυλινδρικού φωτισμού στις κλάσεις P επαφίεται στην διακριτική ευχέρεια των φορέων των έργων φωτισμού, εφόσον απαιτείται η αναγνώριση προσώπων ή για άλλους λόγους.

3. Σχεδιασμός οδοφωτισμού, μελέτες φωτισμού

Ο σχεδιασμός οδοφωτισμού αφορά στην κάλυψη των ελάχιστων απαιτήσεων των αντίστοιχων κλάσεων φωτισμού, όπως αυτές επιλέχθηκαν μέσω της διαδικασίας που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2 και περιλαμβάνει την επιλογή του εξοπλισμού και της διάταξης τοποθέτησης αυτού στο υπό μελέτη οδικό τμήμα. Οι φωτοτεχνικοί υπολογισμοί πρέπει να εκτελούνται με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-3:2015 ή όποια νεότερη έκδοση.

Οι απαιτήσεις των κλάσεων διαφέρουν και εξαρτώνται πρωτίστως από το είδος της επιλεχθείσας κλάσης φωτισμού, δηλαδή στο εάν απευθύνεται στην κάλυψη απαίτησης λαμπρότητας (κλάσεις M) ή έντασης φωτισμού (κλάσεις C, P)

Για τις οδούς κλάσης M απαιτείται ο υπολογισμός των μεγεθών L_{av} (cd/m^2), U_o , U_l , U_{ow} , f_{TI} , R_{EI} .

Για τις οδούς κλάσης C απαιτείται ο υπολογισμός των μεγεθών E (lx), U_o και προαιρετικά το f_{TI} (%).

Για τις οδούς κλάσης P απαιτείται να υπολογιστούν τα μεγέθη E (lx), E_{min} (lx) ενώ προαιρετικά υπολογίζονται τα E_v (lx), E_{sc} (lx) και f_{TI} (%).

Τα ανωτέρω ορίζονται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε κλάσης φωτισμού όπως αναγράφονται στο κεφάλαιο 2. Οι υπολογισμοί των φωτομετρικών μεγεθών εκτελούνται επί τυπικού κανάβου σύμφωνα με τα οριζόμενα στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN13201-3:2015 ή σε νεότερη έκδοσης αυτού.

3.1 Επιλογή τυπικών γεωμετριών

Για την εκπόνηση των μελετών φωτισμού ο μελετητής πρέπει να έχει στη διάθεση του, εκτός των στοιχείων των απαιτήσεων των κλάσεων, τα ακόλουθα επιπλέον δεδομένα όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 18.

Πίνακας 18. Επιπλέον αναγκαία δεδομένα για τις μελέτες οδοφωτισμού

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδού	• το πλάτος οδού • τον αριθμό των πεζοδρομίων • το πλάτος των πεζοδρομίων (εάν υπάρχουν) • το πλάτος νησίδας/ων (εάν υπάρχουν) • τον αριθμό λωρίδων κυκλοφορίας • τον τύπο της ασφάλτου οδοστρώματος
Χαρακτηριστικά διάταξης οδοφωτισμού	• το ύψος των ιστών • τη διάταξη των ιστών στις πλευρές της οδού • την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ιστών • την απόσταση των ιστών από το ρείθρο • το μήκος του βραχίονα • την κλίση του βραχίονα/φωτιστικού
Λοιπά δεδομένα	• Το συντελεστή συντήρησης της εγκατάστασης

Στην περίπτωση που τα φωτιστικά δεν εγκαθίστανται επί ιστών (επιφανειακή στήριξη, ανάρτηση με συρματόσχοινο κλπ) ο μελετητής φροντίζει τα αποτελέσματα της μελέτης του να είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού.

Σε περιπτώσεις στις οποίες ο φωτισμός αφορά σε νέο δίκτυο υποδομής ιστών και παρέχεται η δυνατότητα επιλογής των θέσεων αυτών, τότε ο μελετητής οφείλει να εξετάσει και να επιλέξει την βέλτιστη τοποθέτηση των φωτιστικών (π.χ. ύψος ιστού, απόσταση ιστών, κλίση κ.λπ.) με γνώμονα την ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης, την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας φωτισμού και τις τοπικές περιοριστικές συνθήκες του έργου. Ταυτόχρονα ο εξοπλισμός φωτισμού που επιλέγεται πρέπει να είναι ο βέλτιστος από ενεργειακής και φωτοτεχνικής άποψης.

Σε νέες εγκαταστάσεις φωτισμού, οι φωτοτεχνικές μελέτες θα εκπονούνται για όλες τις διαφορετικές γεωμετρίες που παρουσιάζονται, έτσι ώστε να διασφαλίζεται το απαιτούμενο αποτέλεσμα φωτισμού σύμφωνα με την εκάστοτε κλάση σε κάθε σημείο της εγκατάστασης. Όταν οι αποκλίσεις μεταξύ των διαφορετικών γεωμετριών είναι επουσιώδεις, ή μη επουσιώδεις αλλά πολυάριθμες και αναπόφευκτες λόγω διαφόρων δυσκολιών σχεδιασμού του έργου, τότε ο μελετητής μπορεί, ομαδοποιώντας κατάλληλα, να επιλέγει τη διεξαγωγή μελετών για τις αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις, οι οποίες λογίζονται ως οι “τυπικοί κানাβοι υπολογισμών”.

Οι τυπικοί κানাβοι υπολογισμών είναι κρίσιμης σημασίας περισσότερο στις περιπτώσεις εκπόνησης μελετών για υφιστάμενο δίκτυο οδοφωτισμού, όπου δεν υπάρχει περιθώριο τροποποιήσεων και παρεμβάσεων στις διατάξεις των ιστών. Στις περιπτώσεις αυτές, ο μελετητής πρέπει να προβεί σε ομαδοποίηση των διαφορετικών περιπτώσεων και να δημιουργήσει αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις οδών και γεωμετριών. Η ομαδοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οδών πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε οδοί που ανήκουν στην ίδια ομάδα να καλύπτονται φωτοτεχνικά από μία φωτομετρική λύση (τύπο φωτιστικού σώματος, κατανομή φωτεινής έντασης, συνολική φωτεινή ροή, κ.λπ.). Συνεπώς, με τη μέθοδο αυτή δημιουργείται ένα σύνολο διαφορετικών περιπτώσεων κάλυψης φωτοτεχνικών απαιτήσεων, το πλήθος των οποίων εξαρτάται από:

- Το συνολικό πλήθος των φωτιστικών που εντάσσονται στην παρέμβαση.
- Το πλήθος των διαφορετικών περιπτώσεων γεωμετριών που προκύπτουν από ιδιαιτερότητες και ανομοιομορφίες της υπό μελέτη περιοχής.
- Το βαθμό πολυτυπίας του εξοπλισμού φωτισμού λόγω αισθητικών ή άλλων απαιτήσεων κλπ.

Το ως ανωτέρω σύνολο των περιπτώσεων των αντιπροσωπευτικών οδών ορίζεται ως το **Φωτοτεχνικό Πρότυπο** της παρέμβασης.

Η κάθε τυπική περίπτωση συνοδεύεται από το αντίστοιχο πλήθος των φωτιστικών που αντιπροσωπεύει, έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται αξιολόγηση και της επίδρασης που έχει στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση της λύσης.

Σημειώνεται πως ο μελετητής πρέπει να επιλέξει τους τυπικούς κανάβους και με γνώμονα τα δυσμενέστερα εμφανιζόμενα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, έτσι ώστε να διασφαλίζεται πως όλες οι γεωμετρίες που “αντιπροσωπεύονται” καλύπτονται επαρκώς φωτοτεχνικά.

Διευκρινίζεται ότι στην περίπτωση που τα χαρακτηριστικά της οδού διαφοροποιούνται τότε ο μελετητής επιλέγει τυπικό κανάβο για κάθε διακριτό τμήμα. Συνεπώς η επιλογή τυπικού κανάβου με τα δυσμενέστερα χαρακτηριστικά αφορά μόνο το συγκεκριμένο τμήμα και όχι τα άλλα.

Συνεπώς, η επιλογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των τυπικών γεωμετριών του Φωτοτεχνικού Προτύπου, επιλέγονται με γνώμονα την κάλυψη των φωτοτεχνικών απαιτήσεων των οδών στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

Το Φωτοτεχνικό Πρότυπο πρέπει να είναι πλήρες, δηλαδή να περιλαμβάνει όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την εκπόνηση φωτοτεχνικών μελετών, αλλά και προσανατολισμένο στην εφαρμογή απαιτήσεων βελτιστοποίησης σχεδίασης φωτισμού με δείκτες αξιολόγησης απόδοσης, όπως παρουσιάζεται στην §3.4.

Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται παραδείγματα τυπικών κανάβων υπολογισμών ενός φωτοτεχνικού προτύπου. Οι τιμές που παρουσιάζονται είναι ενδεικτικές.

Πίνακας 19. Παράδειγμα τυπικών κανάβων υπολογισμών ενός Φωτοτεχνικού Προτύπου.

Τυπικός κανάβος	Τοποθέτηση ιστών	Πλάτος νησίδας (m)	Πλάτος οδού (m)	Αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας	Απόσταση διαδοχικών ιστών (m)	Ύψος στήριξης φωτιστικού (m)	Απόσταση φωτιστικού από το οδόστρωμα (m)	Υφιστάμενη κλίση βραχίονα (°)	Κλάση φωτισμού
1	Νησίδα	-	6.0	1	35	9	0.35	5	M2
2	Δεξιά	-	12.5	3	40	12	0.70	0	M2
3	Δεξιά	-	9.0	2	27	9	0.50	5	M3
4	Νησίδα	6	6.0	1	26	9	-1.20	0	M3
5	Νησίδα	4	7.0	2	24	9	-0.25	0	M3
6	Χιαστί	-	7.5	2	36	9	0.00	10	M4
7	Δεξιά	-	8.0	2	28	9	1.50	0	M4
8	Δεξιά	-	8.0	2	28	9	1.50	0	M5
9	Δεξιά	-	10.0	2	33	7	0.35	5	M5
10	Δεξιά	-	12.0	3	30	7	-1.50	15	M5
11	Δεξιά		5.0	1	30	7	0.60	0	C2
12	Δεξιά		6.0	1	29	7	0.10	5	C2
13	Δεξιά		6.5	1	32	7	0.40	5	C3

14	Δεξιά		6.5	1	31	9	1.50	0	C3
15	Δεξιά		6.5	1	34	7	-2.00	5	C3
16	Χιαστί		6.5	1	38	9	1.00	0	C3
17	Δεξιά		7.0	2	35	7	-1.20	0	C4
18	Δεξιά		7.0	2	25	9	-1.70	0	C4
19	Δεξιά		7.0	2	32	7	-1.50	5	C5
20	Δεξιά		8.0	2	30	7	0.00	5	C5

3.2 Συντελεστής συντήρησης

Βασικό στοιχείο της μελέτης φωτισμού είναι ο καθορισμός του συντελεστή συντήρησης, που αφορά στην διαχρονική απομείωση της ικανότητας φωτισμού της εγκατάστασης.

Σε κάθε μελέτη φωτισμού πρέπει να υπολογίζεται ο εκάστοτε συντελεστής συντήρησης (Maintenance Factor – MF) της εγκατάστασης. Η τιμή του συντελεστή συντήρησης εφαρμόζεται στα υπολογιζόμενα φωτομετρικά μεγέθη και επηρεάζει κατ' επέκταση την εγκατεστημένη ισχύ και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο συντελεστής συντήρησης είναι ο λόγος της λαμπρότητας ή της έντασης φωτισμού που επιτυγχάνεται από ένα σύστημα φωτισμού μετά από ένα σαφώς ορισμένο διάστημα λειτουργίας προς την λαμπρότητα ή την ένταση φωτισμού αντίστοιχα που επιτυγχάνεται από το σύστημα κατά την πρώτη ημέρα λειτουργίας (καινούργιο σύστημα). Η μεθοδολογία υπολογισμού περιγράφεται στην τεχνική αναφορά CIE-154:2003 και στο πρότυπο ISO/CIE TS 22012:2019.

Ο συντελεστής συντήρησης ορίζεται ως εξής: $MF = E_m / E_{in}$ (3)

όπου:

E_m : Η λαμπρότητα ή ένταση φωτισμού μετά από σαφώς ορισμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας (maintained)

E_{in} : Η λαμπρότητα ή ένταση φωτισμού την πρώτη ημέρα λειτουργίας (initial)

Ο υπολογισμός του συντελεστή συντήρησης, όπως ορίστηκε ανωτέρω, αφορά σε ένα συγκεκριμένο και σαφώς ορισμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας της εγκατάστασης. Αυτό σημαίνει ότι για την ίδια ακριβώς εγκατάσταση υπολογίζεται διαφορετικός συντελεστής συντήρησης για διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Επομένως, άλλος συντελεστής συντήρησης υπολογίζεται π.χ. για 2 έτη και άλλος για 4 έτη. Το χρονικό αυτό διάστημα θα πρέπει να λαμβάνεται από το μελετητή ως ίσο με τον αναμενόμενο / προδιαγεγραμμένο ωφέλιμο χρόνο ζωής των επιλεγμένων τύπων φωτιστικών, όπως αυτός καθορίζεται βάσει των σχετικών και ως κατωτέρω δεόντως πιστοποιημένων στοιχείων του κατασκευαστή.

Ο συντελεστής συντήρησης υπολογίζεται ως γινόμενο τριών επιμέρους συντελεστών σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \quad (4)$$

Ο κάθε συντελεστής ορίζεται και υπολογίζεται ως ακολούθως:

LLMF – Lamp Lumen Maintenance Factor - Συντελεστής συντήρησης φωτεινής ροής φωτεινών πηγών:

Ο συντελεστής συντήρησης υπολογίζει την απομείωση της φωτεινής ροής των πηγών φωτισμού με την πάροδο των ωρών λειτουργίας. Υπολογίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε πηγής φωτισμού. Για τις πηγές LED ο συντελεστής υπολογίζεται από τα παρεχόμενα στοιχεία του κατασκευαστή της φωτεινής πηγής LED σύμφωνα με τα πρότυπα IES-LM-80 και IES-TM-21 ή/και IEC 62717 και για το χρονικό διάστημα που αφορά τον υπολογιζόμενο συντελεστή συντήρησης

LSF – Lamp Survival Factor - Συντελεστής επιβίωσης φωτεινών πηγών:

Υπολογίζει την πιθανότητα αστοχίας των φωτεινών πηγών και παρέχεται από τον κατασκευαστή των φωτεινών πηγών.

LMF – Luminaire Maintenance Factor - Συντελεστής συντήρησης φωτιστικού σώματος:

Υπολογίζει την απομείωση της απόδοσης του φωτιστικού σώματος όσον αφορά τα οπτικά μέρη όπως οι φακοί, ο ανακλαστήρας, τα καλύμματα κ.λπ. Ο υπολογισμός γίνεται σε συνδυασμό με τον δείκτη προστασίας IP του φωτιστικού σώματος. Παραδείγματα δίνονται στους αντίστοιχους πίνακες της Τεχνικής Έκθεσης CIE 154:2003 και του προτύπου ISO/CIE TS 22012:2019. Για τον υπολογισμό αυτόν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τον μελετητή και η προβλεπόμενη συχνότητα συντήρησης / καθαρισμού των φωτιστικών, βάσει των προδιαγραφών / εγχειριδίων του υπό μελέτη έργου.

3.3 Λογισμικά μελετών φωτισμού

Τα λογισμικά εκπόνησης των μελετών πρέπει να μπορούν να εκπονούν τους απαραίτητους φωτοτεχνικούς υπολογισμούς. Πρέπει να έχουν ενσωματωμένες τις εκάστοτε αναθεωρήσεις των ευρωπαϊκών και ισχυόντων προτύπων (π.χ. EN 13201), επιπλέον δε να διαθέτουν δυνατότητες παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων φωτομετρικής ανάλυσης. Είναι απαραίτητο επίσης να μπορούν να δεχθούν τα φωτομετρικά στοιχεία των περισσότερων βιομηχανικών φωτιστικών της παγκόσμιας αγοράς στις πλέον αναγνωρίσιμες μορφές αρχείων (.ldt, .ies) ή όποιο νεότερο προκύψει.

3.4 Βελτιστοποίηση σχεδιασμού

Όπως αναλύθηκε στην §3.1, σε κάθε περίπτωση ο μελετητής πρέπει να συντάσσει το Φωτοτεχνικό Πρότυπο πλήρες με όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για την εκπόνηση φωτοτεχνικών μελετών επί συγκεκριμένων απαιτήσεων, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί στη συνέχεια η βελτιστοποίησή του με γνώμονα το ενεργειακό αποτύπωμα της παρέμβασης, αλλά και την αποδοτικότητα της αξιοποίησης του παραγόμενου φωτισμού.

Η βελτιστοποίηση αφορά στην εύρεση / διερεύνηση των εναλλακτικών φωτομετρικών λύσεων που προκύπτουν από τον εξοπλισμό για την κάθε περίπτωση του Φωτοτεχνικού Προτύπου, όπως και στην εύρεση της βέλτιστης λύσης σε κάθε κάναβο χωριστά ή/και συνολικά στην υπό μελέτη εγκατάσταση. Η βελτιστοποίηση συνεπώς, αφορά στην εύρεση της ενεργειακά αποδοτικότερης λύσης, δηλαδή της λύσης με τη μικρότερη απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύ.

Παράλληλα, ο μελετητής οφείλει να υπολογίσει τους ακόλουθους ποιοτικούς & ενεργειακούς δείκτες επίδοσης που ορίζονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-5:2016.

3.4.1 Δείκτης πυκνότητας ισχύος – Power Density Indicator

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot A_i)} \frac{W}{lx \cdot m^2} \quad (5)$$

όπου:

D_p : Δείκτης πυκνότητας ισχύος

P : Η συνολική ισχύς των φωτιστικών που καλύπτουν την υπό εξέταση περιοχή

E_i : Η μέση ένταση οριζόντιου φωτισμού της υποπεριοχής i

A_i : Το εμβαδόν της υποπεριοχής i που φωτίζεται από το σύστημα φωτισμού

n : Ο αριθμός των φωτιζόμενων υποπεριοχών

Ο δείκτης D_p αυτός υπολογίζει την επίδοση του συστήματος φωτισμού στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος (οδόστρωμα, πεζοδρόμια κ.λπ.) δίνοντας το ποσό της απορροφούμενης ισχύος που απαιτείται για το σκοπό του οδοφωτισμού. Σημειώνεται πως ο δείκτης D_p αφορά αξιολόγηση της λύσης φωτισμού με κριτήριο την ένταση φωτισμού σε lux, δηλαδή για τις κλάσεις φωτισμού C και P

Οι αναλυτικές οδηγίες χρήσης του δείκτη αυτού περιγράφονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-5:2016

3.4.2 Συντελεστής λαμπρότητας

Στις περιπτώσεις που το κριτήριο σχεδιασμού αφορά το μέγεθος της λαμπρότητας, δηλαδή τις κλάσεις M, ο μελετητής πρέπει να υπολογίζει το συντελεστή λαμπρότητας q_{inst} όπως αυτός ορίζεται ακολούθως και αναλυτικότερα στο ΕΛΟΤ EN 13201-5.

$$q_{inst} = \frac{\bar{L}}{Q_0 \cdot \bar{E}} \quad (6)$$

όπου:

q_{inst} : Συντελεστής λαμπρότητας

$\bar{L}$: Η μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος

$\bar{E}$: Η μέση ένταση φωτισμού στο οδόστρωμα

Q_0 : Η συνολική ανακλαστικότητα της ασφάλτου

Ο συντελεστής λαμπρότητας φανερώνει πόσο αποδοτική είναι η κατανομή φωτισμού και η τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων ώστε να παράγουν την μεγαλύτερη δυνατή λαμπρότητα με τη λιγότερη δυνατή ένταση φωτισμού στο οδόστρωμα επί συγκεκριμένου συντελεστή ανάκλασης της ασφάλτου.

3.4.3 Δείκτης συνολικής απόδοσης της εγκατάστασης.

Ο συνολική απόδοση μίας εγκατάστασης φωτισμού μπορεί να υπολογισθεί για τις εγκαταστάσεις που έχουν ως κριτήριο υπολογισμού τη λαμπρότητα ή την ένταση φωτισμού με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης.

$$n_{inst} = C_L \cdot f_M \cdot U \cdot R_{LO} \cdot n_{ls} \cdot n_p \quad (7) \text{ όπου:}$$

n_{inst} : Η συνολική απόδοση της εγκατάστασης οδοφωτισμού
 C_L : Συντελεστής διόρθωσης λαμπρότητας
 f_M : Ο συνολικός συντελεστής συντήρησης της εγκατάστασης
 U : Ο συντελεστής χρησιμοποίησης της εγκατάστασης
 R_{Lo} : Η οπτική απόδοση των φωτιστικών σωμάτων
 n_{ls} : Η απόδοση των φωτεινών πηγών σε lm/W
 n_p : Η απόδοση ισχύος των φωτιστικών σωμάτων

Οι αναλυτικές οδηγίες χρήσης του δείκτη αυτού περιγράφονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-5:2016

3.4.4 Ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης

Ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης (Annual Energy Consumption Indicator) D_e υπολογίζει την επίδοση του συστήματος φωτισμού κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου διαστήματος (π.χ. έτους) στην περιοχή ενδιαφέροντος. Με το δείκτη αυτό γίνεται σαφές το ποσό της καταναλισκόμενης ενέργειας που απαιτείται για το σκοπό του οδοφωτισμού.

$$D_e = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \frac{Wh}{m^2} (8)$$

όπου:

D_e : Ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης
 P_j : Η συνολική ισχύς των φωτιστικών που καλύπτουν την υπό εξέταση περιοχή το χρονικό διάστημα λειτουργίας j
 t_j : Η διάρκεια της περιόδου λειτουργίας j
 A : Το εμβαδόν της περιοχής που φωτίζεται από το σύστημα φωτισμού
 m : Ο αριθμός διαφορετικών περιόδων λειτουργίας

Ο μελετητής μπορεί να βρει αναλυτικότερες πληροφορίες επεξήγησης των επιμέρους στοιχείων και εφαρμογής των δεικτών επίδοσης στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-5.

Οι αναλυτικές οδηγίες χρήσης του δείκτη αυτού περιγράφονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-5:2016

Ο μελετητής, έχει την ευχέρεια να εισάγει και άλλα ποιοτικά κριτήρια τα οποία οδηγούν στην αναβάθμιση της παρεχόμενης υπηρεσίας φωτισμού. Ενδεικτικά παραδείγματα αφορούν στον υπολογισμό της εγκατεστημένης ισχύος ανά χιλιόμετρο οδού (kW/km), στην αξιολόγηση των διαφορετικών προτάσεων φωτισμού ανάλογα με την παρεχόμενη συνολική ομοιομορφία φωτισμού (λαμπρότητας ή/και έντασης φωτισμού) και διαμήκους ομοιομορφίας λαμπρότητας.

Προτείνεται τα ποιοτικά κριτήρια του Φωτοτεχνικού Προτύπου να χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των εναλλακτικών προσφορών στις διαγωνιστικές διαδικασίες ως κριτήρια τεχνικής αξιολόγησης καθώς αποτελούν αμιγώς αντικειμενικό τρόπο αξιολόγησης που προάγει το αποτέλεσμα φωτισμού προς την θετική κατεύθυνση.

3.5 Περιορισμός Φωτορύπανσης και θερμοκρασία χρώματος φωτεινών πηγών

Η φωτορύπανση αποτελεί μια σημαντική παράπλευρη παρενέργεια του εξωτερικού φωτισμού που αφορά τόσο τους ίδιους τους χρήστες, όσο και το παρακείμενο περιβάλλον. Με σκοπό τον περιορισμό του παράσιτου φωτισμού σε όμορες περιοχές, καθώς και της πρόκλησης φωτορύπανσης, τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται στον οδοφωτισμό πρέπει να έχουν μηδενική φωτεινή εκπομπή στο άνω νοητό ημισφαίριο εκ του κατασκευαστή τους, δηλαδή $ULOR = 0\%$. Η αξιολόγηση των συγκεκριμένων δεικτών διενεργείται με αναφορά σε κλίση τοποθέτησης 0 μοιρών των φωτιστικών σωμάτων. Σημειώνεται πως η απαίτηση αυτή αφορά τα οδικά φωτιστικά σώματα και όχι τα φωτιστικά σώματα αρχιτεκτονικού τύπου (φωτιστικά κορυφής, διακοσμητικά κ.λπ.). Σε ειδικές περιπτώσεις οδοφωτισμού με χρήση έντονα ασύμμετρων προβολέων ή και φωτιστικών, επιτρέπεται απόκλιση από την προδιαγραφή έως και κατηγορία U1.

Στις περιπτώσεις όπου κρίνεται σκόπιμη η τοποθέτηση των φωτιστικών σε γωνία μεγαλύτερη των 0 μοιρών (λόγω αποδοτικότερης λύσης), προτείνεται η κλίση των φωτιστικών να μην ξεπερνά τις 10 μοίρες και ορίζεται πως σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να ξεπερνά τις 15 μοίρες.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αναφερόμενα στον οδηγό “Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals” του JRC της ΕΕ, για την μείωση της επίδρασης της υψηλής θερμοκρασίας χρώματος στον κερκαδικό ρυθμό του ανθρώπου και την καταστολή έκκρισης της μελατονίνης καθώς και για τον περιορισμό των επιπτώσεων στα έμβια όντα, καθώς και τους κανονισμούς άλλων ευρωπαϊκών χωρών, η ονομαστική θερμοκρασία χρώματος των πηγών φωτισμού για χρήση στο εθνικό οδικό δίκτυο πρέπει να είναι $\leq 4000K$ (με συνιστώμενη $\leq 3000K$), ενώ για τις κατοικημένες περιοχές απαιτείται η χρήση φωτεινών πηγών με ονομαστική θερμοκρασία χρώματος $\leq 3000K$.

4. Προδιαγραφές εξοπλισμού

4.1 Ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές φωτιστικών σωμάτων οδοφωτισμού

Τα φωτιστικά σώματα τύπου βραχίονα ή αντίστοιχοι οδικοί προβολείς που χρησιμοποιούνται για εξωτερικό φωτισμό κάθε τύπου οδού πρέπει να έχουν τα ακόλουθα ελάχιστα τεχνικά χαρακτηριστικά και πιστοποιήσεις. Εξαιρούνται τα φωτιστικά οδικού ή αστικού τύπου με αρχιτεκτονική διακοσμητική σχεδίαση. Σημειώνεται πως η εκάστοτε Αναθέτουσα Αρχή έχει την δυνατότητα να απαιτεί επιπρόσθετες προδιαγραφές από τις κάτωθι καθώς και να ενσωματώνει τις προδιαγραφές των εκάστοτε ισχυουσών ΕΤΕΠ.

4.1.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φωτιστικού σώματος

Το σώμα του φωτιστικού πρέπει να είναι κατασκευασμένο από κατάλληλο υλικό για τις εκάστοτε συνθήκες και απαιτήσεις λειτουργίας. Στις περιπτώσεις όπου ο εξοπλισμός φωτισμού βρίσκεται κοντά σε παραθαλάσσιο περιβάλλον τότε πρέπει να αντέχει στο παραθαλάσσιο περιβάλλον. Η κατασκευή του σώματος του φωτιστικού θα διασφαλίζει την ικανότητα απαγωγής της παραγόμενης θερμότητας τόσο για το τμήμα της οπτικής πηγής όσο και για το τμήμα των ηλεκτρικών μερών μέσω. Το φωτιστικό σώμα ενδέχεται να φέρει δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης εφόσον απαιτείται από τις αντίστοιχες μελέτες φωτισμού.

Αντίστοιχα οι προβολείς πρέπει να διαθέτουν κατάλληλα στηρίγματα για την σωστή προσαρμογή τους επί των βάσεων των πυλώνων.

Στις περιπτώσεις προβολέων όπου τα ηλεκτρικά όργανα βρίσκονται σε ξεχωριστό κέλυφος από την οπτική μονάδα, τότε αυτά πρέπει να είναι ασφαλισμένα σε κατάλληλο πλαίσιο για την ομαλή λειτουργία τους και να συνοδεύονται από τις κατάλληλες καλωδιώσεις προς την οπτική μονάδα.

4.1.2 Προστατευτικό κάλυμμα

Το προστατευτικό κάλυμμα έχει ως σκοπό την προστασία της οπτικής μονάδας από το εξωτερικό περιβάλλον. Το κάλυμμα που χρησιμοποιείται για την προστασία της οπτικής μονάδας μπορεί να έχει τις ακόλουθες 2 μορφές

- Στην περίπτωση οπτικών πηγών LEDs θα πρέπει το προστατευτικό κάλυμμα να είναι από θερμικά επεξεργασμένη ύαλο (tempered glass) το οποίο προστατεύει συνολικά την οπτική πηγή και τους φακούς διάχυσης του φωτός ή ανακλαστήρες. Το κάλυμμα μπορεί να είναι καθαρό διαυγές ή ημιδιαφανές (τύπου Frosted).
- Προστατευτικό κάλυμμα από πολυκαρβονικό υλικό με αντοχή στην υπεριώδη (UV) ακτινοβολία. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το προστατευτικό κάλυμμα ενδέχεται να φέρει ενσωματωμένους και τους φακούς διάχυσης.

4.1.3 Υλικά οπτικής μονάδας

Στην περίπτωση ύπαρξης γυάλινου καλύμματος ή καλύμματος από πολυκαρβονικό υλικό το οποίο δεν φέρει ενσωματωμένους φακούς διάχυσης, τότε η διάχυση επιτυγχάνεται από φακούς ή ανακλαστήρες αλουμινίου. Οι φακοί μπορούν να είναι κατασκευασμένοι από υλικό PMMA ή σιλικόνη ή άλλο ισοδύναμο υλικό αντοχής στις θερμοκρασίες λειτουργίας. Οι ανακλαστήρες πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από ανοδιωμένο αλουμίνιο ή άλλο υλικό υψηλότερης ανακλαστικότητας.

4.1.4 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

4.1.4.1. Φωτομετρικά δεδομένα

Τα φωτομετρικά δεδομένα εκδίδονται σε θερμοκρασία Ta 25°C. Τα φωτομετρικά δεδομένα προκύπτουν σύμφωνα με το EN13032 ή το IES LM 79 (οι νεότερες εκδόσεις αυτών).

Η ισχύς και η φωτεινή ροή των φωτιστικών επιλέγονται βάσει των αναγκών φωτισμού της εκάστοτε εφαρμογής. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση χρήσης φωτιστικών τεχνολογίας LED, η ονομαστική θερμοκρασία χρώματος (CCT) δεν πρέπει να ξεπερνά τους 4000K (βλ. §3.5). Ο συνδυασμός CCT & CRI πρέπει να εκφράζεται σε χρωματικούς κωδικούς κατά IEC 62717 π.χ. 740 (CRI 70, 4000K), 730 (CRI 70, 3000K) κ.λπ.

Η κατανομή της φωτεινής έντασης του φωτιστικού σώματος επιλέγεται από τον μελετητή σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις.

4.1.4.2. Ηλεκτρικά μεγέθη

Το φωτιστικό σώμα πρέπει να διαθέτει τα κάτωθι ελάχιστα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά:

- Λειτουργία σε δίκτυο με ονομαστική τάση λειτουργίας 230V AC 50Hz και ανοχή σε διακύμανση επί της ονομαστικής τιμής λειτουργίας τουλάχιστον 220-240V.
- Προστασία από υπερτάσεις τουλάχιστον 10kV (σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 61000-4-5, κατηγορία δοκιμής X).
- Κλάση προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας I ή II, (σύμφωνα με το πρότυπο EN 60598-1).
- Συντελεστής ισχύος τουλάχιστον 0.9 σε λειτουργία πλήρους φορτίου του φωτιστικού. Στις περιπτώσεις που το φωτιστικό λειτουργεί και υπό συνθήκες dimming, τότε ο μελετητής πρέπει να διασφαλίζει πως ο συντελεστής ισχύος θα διατηρείται κατά το δυνατόν υψηλότερος και όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ανωτέρω τιμή.
- Έλεγχος φωτεινής πάλμωσης (PstLM, SVM σύμφωνα με τα πρότυπα IEC TR 61547-1:2020 και IEC TR 63158:2018).

4.1.4.3. Βαθμοί προστασίας από εξωτερικές επιδράσεις

Το φωτιστικό σώμα πρέπει να διαθέτει προστασία έναντι εισχώρησης νερού και σκόνης τουλάχιστον IP66 και προστασία έναντι κρούσεων τουλάχιστον IK08.

Το φωτιστικό σώμα πρέπει να είναι κατάλληλο για λειτουργία σε εξωτερικό περιβάλλον από -20°C έως και +40°C. Δεδομένης της κρισιμότητας της υψηλής θερμοκρασίας στην λειτουργικότητα των φωτιστικών, το άνω όριο θερμοκρασίας ελέγχεται κατά το EN / IEC 60598. Συγκεκριμένα, κάθε φωτιστικό σώμα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε θερμοκρασία έως και Ta 40°C ή μεγαλύτερης αναλόγως των συνθηκών εξωτερικού περιβάλλοντος.

4.1.4.4 Συνδεσιμότητα

Τα φωτιστικά σώματα τύπου LED πρέπει να μπορούν να δεχθούν εντολές απομείωσης της φωτεινής τους ροής. Για αυτό το σκοπό τα τροφοδοτικά τους, πρέπει να μπορούν να δεχθούν τις κατάλληλες εντολές μέσω DALI ή 1-10V (0-10V) ή PWM ή άλλου τύπου ανάλογα με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Στην περίπτωση που τα φωτιστικά σώματα δεν παρέχονται με την λύση της διαχείρισης ενσωματωμένη τότε πρέπει να παρέχονται με κατάλληλες υποδοχές μελλοντικής επέκτασης. Οι υποδοχές αυτές, διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του φωτιστικού έως την στιγμή τοποθέτησης ενός ελεγκτή. Συγκεκριμένα κάθε οδικό φωτιστικό σώμα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με NEMA Socket 7 PIN C136.41 ή Zhaga Socket ή άλλο τυποποιημένο ισοδύναμο σύμφωνα με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των τεχνικών συνδεσιμότητας.

Όλες οι εσωτερικές συνδέσεις του φωτιστικού πρέπει να είναι υλοποιημένες κατά την παραγωγή αυτού και η μελλοντική τοποθέτηση ελεγκτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή.

4.1.4.5 Διατήρηση φωτεινής ροής

Η διατήρηση της φωτεινής ροής των πηγών LED εκφράζεται μέσω του IES LM-80 & της τεχνικής έκθεσης IES TM-21. Τα φωτιστικά σώματα πρέπει να φέρουν πηγές LED οι οποίες θα διαθέτουν τουλάχιστον τιμή L80 υπολογιζόμενη (Calculated) στις 50.000 ώρες σε θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος τουλάχιστον 25°C. Ως τεκμήριο για αυτή την δήλωση χρησιμοποιείται η LM 80 αναφορά, στην οποία πρέπει να υπάρχει ένα ή περισσότερα αντιπροσωπευτικά σύνολα δεδομένων (datasets) της λειτουργίας του

φωτιστικού σώματος, δηλαδή συνδυασμοί ρεύματος οδήγησης (If- mA) & θερμοκρασίας Ts (ή Tsp).

Σημειώνεται πως στην περίπτωση που ζητείται δήλωση διατήρησης φωτεινής ροής, με συντελεστή Byy διαφορετικό του B50, τότε για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται και το πρότυπο IEC 62717.

4.1.4.6 Πιστοποιήσεις

Τα φωτιστικά σώμα πρέπει να διαθέτουν κατ' ελάχιστον τις ακόλουθες πιστοποιήσεις:

1. Δήλωση συμμόρφωσης του κατασκευαστή κατά CE. Η δήλωση περιλαμβάνει συμμόρφωση με τις οδηγίες και τα αντίστοιχα πρότυπα εναρμόνισης αυτών όπως ισχύουν κατά περίπτωση.
 - a. Low Voltage Directive (LVD) 2014/35/EU
 - b. Electromagnetic Compatibility Directive (EMC) 2014/30/EU
 - c. Eco Design Directive 2009/125/EC
 - d. Κανονισμός (ΕΕ) 2017/1369 όπως συμπληρώθηκε από τον Κανονισμό (ΕΕ) 2019/2015
 - e. ATEX 2014/34/ΕΚ για προϊόντα που προορίζονται για χρήση σε εκρήξιμες ατμόσφαιρες, όπου απαιτείται & εάν προβλέπεται από τη μελέτη να δημιουργούνται τέτοιες συνθήκες στα μέρη που θα τοποθετηθούν τα προϊόντα
 - f. ROHS Directive 2011/65/EU
2. Ο κατασκευαστής των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να διαθέτει ενεργό σύστημα διαχείρισης ποιότητας ISO 9001:2015 και περιβαλλοντικής διαχείρισης ISO 14001:2015 ή νεότερο. Στην πιστοποίηση θα πρέπει να περιλαμβάνεται η κατασκευή και εμπορία προϊόντων φωτισμού.
3. Πιστοποιητικό τύπου ENEC ή άλλου ισοδύναμου σχήματος ISO Type 5, το οποίο καλύπτει τις απαιτήσεις των προτύπων χαμηλής τάσης (EN 60598-1, EN 60598 2-3).
4. Προαιρετικό - Πιστοποιητικό τύπου ENEC+ ή άλλου ισοδύναμου σχήματος ISO Type 5, το οποίο αφορά σε εφαρμογή του EPRS 003 (εφαρμογή του προτύπου EN/IEC 62722-2-1).
5. Τα φωτομετρικά δεδομένα να προέρχονται από διαπιστευμένο με ISO 17025 εργαστήριο από φορέα EA-MLA ή IAF / ILAC. Η εκάστοτε Αναθέτουσα Αρχή μπορεί να απαιτεί επίσης εκτός από διαπιστευμένο εργαστήριο το εργαστήριο των φωτομετρικών δεδομένων να είναι εναλλακτικά αναγνωρισμένο (Approved/Recognized κ.ο.κ.) από διαπιστευμένο φορέα κατά ISO 17025. Στην περίπτωση αυτή θα υποβάλλεται δήλωση του εργαστηρίου ότι τα φωτομετρικά δεδομένα προέρχονται από το ίδιο. Τεκμήριο της προέλευσης των φωτομετρικών δεδομένων μπορεί να είναι δήλωση του εργαστηρίου που την εξέδωσε ή του εργαστηρίου του κατασκευαστή εάν διαθέτει αυτό.
6. Συνιστάται να απαιτείται διαπίστευση του εργαστηρίου από φορέα EA-MLA (και όχι γενικά από IAF/ILAC), δεδομένου πως στη συγκεκριμένη ομάδα φορέων διαπίστευσης ανήκουν μόνο οι ευρωπαϊκοί φορείς.
7. Τα δεδομένα του διατήρησης φωτεινής ροής κατά το πρότυπο LM 80 να προέρχονται από διαπιστευμένο εργαστήριο κατά ISO 17025, EA-MLA ή IAF / ILAC.

Σημειώνεται πως οι ανωτέρω πιστοποιήσεις διασφαλίσες όπως και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά είναι ελάχιστες απαιτήσεις και κάθε μελετητής μπορεί να εμπλουτίζει τις απαιτήσεις με όρους που προάγουν την ποιότητα των προσφερόμενων προϊόντων. Μπορούν επίσης να ζητούνται πιο εξειδικευμένα κατά περίπτωση πιστοποιητικά ή / και εκθέσεις δοκιμών (π.χ. ανεμοπιέσεων, δονήσεων, θερμικών αντοχών κοκ) ανάλογα με τις συνθήκες της εκάστοτε εφαρμογής.

Τέλος είναι απαραίτητο να προσκομίζεται επιπρόσθετο ενημερωτικό υλικό, φωτογραφίες, εγχειρίδια εγκατάστασης και λοιπό τεχνικό υλικό που υποστηρίζουν την συμμόρφωση με τις προδιαγραφές.

4.2 Ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές συστημάτων απομακρυσμένου ελέγχου εξωτερικού φωτισμού

4.2.1 Διαλειτουργικότητα

Τα συστήματα ελέγχου εγκαταστάσεων φωτισμού οδών πρέπει απαραίτητα να διαθέτουν την κατάλληλη τεχνολογία ώστε να επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα με άλλα συστήματα ελέγχου. Η διαλειτουργικότητα αφορά στις ακόλουθες παραμέτρους:

- α) Τη δυνατότητα ανταλλαγής λειτουργικών στοιχείων και σημάτων ελέγχου μεταξύ δύο ή περισσότερων συστημάτων ελέγχου διαφορετικών κατασκευαστών υπό κοινό λογισμικό ελέγχου. Για το σκοπό αυτό απαιτείται η παροχή κατάλληλης διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογών (API, SDK, κ.λπ) από τον κατασκευαστή συστήματος ελέγχου.
- β) Με σκοπό την δυνατότητα αναβάθμισης των ελεγκτών φωτισμού, αλλά και της δυνατότητας διεύρυνσης των επιλογών του φορέα διαχείρισης, προτείνεται η χρήση ελεγκτών φωτισμού τύπου NEMA Socket ή Zhaga κοκ έτσι ώστε η εγκατάσταση φωτισμού να μπορεί εύκολα μελλοντικά να αναβαθμιστεί.

4.2.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Το σύστημα απομακρυσμένου ελέγχου αποτελείται από τις συσκευές πεδίου και το αντίστοιχο λογισμικό. Οι συσκευές πεδίου, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά τους, αλλά και το πλήθος τους εξαρτώνται από την αντίστοιχη τεχνολογία επικοινωνίας. Διακρίνονται **3** βασικές κατηγορίες συστημάτων απομακρυσμένου ελέγχου

- Συστήματα με κεντρικό ελεγκτή τομέα (Segment Controller)
- Συστήματα με τεχνολογίες που επιτρέπουν την απευθείας επικοινωνία κάθε φωτιστικού με το νέφος (cloud) διαχείρισης χωρίς τη διαμεσολάβηση κεντρικού ελεγκτή τομέα.
- Επιτρέπεται η χρησιμοποίηση υβριδικών συστημάτων στα οποία θα υπάρχουν 2 τύποι ελεγκτών οι οποίοι θα δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο mesh σε κατάλληλη αδεσμοποίητη συχνότητα με σκοπό την επικοινωνία των ελεγκτών με το υπολογιστικό νέφος. Ο ένας τύπος ελεγκτή θα διαθέτει επικοινωνία τόσο με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας όσο και με το τοπικό δίκτυο mesh. Ο δεύτερος τύπος ελεγκτή θα έχει κατ' ελάχιστον επικοινωνία με το τοπικό δίκτυο mesh.

Στην περίπτωση των συστημάτων με κεντρικό ελεγκτή τομέα, η επικοινωνία των ελεγκτών φωτιστικών με το εκάστοτε ελεγκτή τομέα μπορεί να επιτυγχάνεται είτε ασύρματα είτε

ενσύρματα. Στην περίπτωση ασύρματης επικοινωνίας ο ασύρματος ελεγκτής τομέα μπορεί τοποθετείται πλησίον ή εντός ενός πίνακα ηλεκτρικής παροχής (π.χ. ΦΟΠ).

Όλα τα συστήματα ελέγχου πρέπει να έχουν τα ακόλουθα ελάχιστα λειτουργικά χαρακτηριστικά:

1. Άμεσο δυναμικό έλεγχο οποιουδήποτε φωτιστικού σώματος ή ομάδας φωτιστικών σωμάτων (ένανυση, σβέση και ρύθμιση φωτεινής ροής στα ενδιάμεσα επίπεδα).
2. Δυνατότητα δημιουργίας ομάδων φωτιστικών ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης.
3. Εποπτεία της λειτουργικής κατάστασης των φωτιστικών.
4. Δυνατότητα σύνδεσης επιπρόσθετων αισθητήρων (κίνησης, παρουσίας φωτοκυττάρων, καιρικών συνθηκών κ.α.) με τους οποίους αυξάνει η λειτουργικότητα της εγκατάστασης.
5. Οπτική πληροφόρηση λειτουργίας σε σύστημα GIS (π.χ. Google Maps κ.ο.κ.).
6. Αποθήκευση λειτουργικών παραμέτρων σε βάση δεδομένων.
7. Δημιουργία αναφορών λειτουργίας.
8. Δημιουργία συναγερμών σφαλμάτων.

Σημειώνεται πως ο μελετητής μπορεί να ζητά περισσότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά από τα αναφερόμενα, αναλόγως των απαιτήσεων της εκάστοτε εφαρμογής και της τεχνολογίας που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει.

5. Μεθοδολογία λειτουργίας προσαρμοστικού φωτισμού

5.1 Εισαγωγή

Ο προσαρμοστικός φωτισμός αποτελεί, βάσει του ΕΛΟΤ EN 13201 μια τεχνική προσαρμογής της κλάσης φωτισμού λαμβάνοντας υπ' όψιν τις μεταβολές συγκεκριμένων κριτηρίων επιλογής κλάσης κατά την διάρκεια λειτουργίας της εγκατάστασης. Ο προσαρμοστικός φωτισμός, όταν εφαρμόζεται, οδηγεί σε μειωμένο ενεργειακό αποτύπωμα της εγκατάστασης φωτισμού και προστασία του περιβάλλοντος τόσο σε ότι αφορά την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου όσο και στην φωτορύπανση.

Συγκεκριμένα, βάσει του CEN / TR 13201-1, επιτρέπεται η μεταβολή της κλάσης φωτισμού μίας οδού, δηλαδή της ονομαστικής κλάσης φωτισμού, στην περίπτωση που κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος οδοφωτισμού, ένα ή περισσότερα από τα κριτήρια μεταβάλουν το βάρος τους, δεδομένου πως μεταβάλλονται ως παράμετροι συνολικά. Στην περίπτωση αυτή και για το χρονικό διάστημα που ισχύουν οι διαφοροποιήσεις των βαρών, η οδός λαμβάνει χαμηλότερη κλάση φωτισμού, η οποία ονομάζεται και κλάση προσαρμοστικού φωτισμού.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται πολλαπλά επίπεδα φωτισμού κατά τη διάρκεια της νύκτας, τα οποία εξυπηρετούν τις κατά τόπου και κατά ώρας ανάγκες φωτισμού των οδών, προσφέροντας τις βέλτιστες συνθήκες στον οδηγό διατηρώντας την κατανάλωση ενέργειας σε όσο το δυνατό χαμηλότερα επίπεδα. Σε κάθε οδό υπό μελέτη ορίζεται υποχρεωτικά μία ονομαστική κλάση φωτισμού και κατά περίπτωση μία ή περισσότερες κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού εφόσον το βάρος ενός ή περισσότερων κριτηρίων επιλογής κλάσης μεταβάλλονται.

5.2 Σχεδιασμός έργου προσαρμοστικού φωτισμού

Ο σχεδιασμός ενός έργου με προσαρμοστικό φωτισμό, προϋποθέτει πως ο εξοπλισμός φωτισμού θα προβλέπεται να έχει την δυνατότητα ρύθμισης φωτεινής ροής για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, είτε αυτό αφορά σε αυτόνομο προγραμματισμό είτε σε τηλεδιαχείριση.

Δεδομένης της ονομαστικής κλάση και των κλάσεων προσαρμοστικού φωτισμού, ορίζονται τα επίπεδα της απαιτούμενης φωτεινής ροής ή “Επίπεδα απομείωσης φωτεινότητας (Dimming levels)”. Τα επίπεδα αυτά προκύπτουν από τον μελετητή φωτισμού μετά από τους αντίστοιχους υπολογισμούς του προσαρμοστικού φωτισμού.

Το πλήθος των επιπέδων ρύθμισης της φωτεινότητας προκύπτει από το πλήθος των προσαρμοστικών κλάσεων που ο μελετητής έχει ορίσει. Ανάλογα με τις δυνατότητες του εξοπλισμού φωτισμού και του συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης μπορούν να υλοποιηθούν τα ακόλουθα σχήματα ρύθμισης φωτεινής ροής:

1. **Στατικό προφίλ ρύθμισης φωτεινής ροής (Fixed dimming level).** Στην συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχουν στατικά προφίλ λειτουργίας τα οποία ενεργοποιούνται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές που επιλέγονται από τον μελετητή, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες των μεταβαλλόμενων παραμέτρων. Το στατικό προφίλ ρύθμισης μπορεί να αφορά για παράδειγμα σε μία ή περισσότερες ενδιάμεσες στάθμες εκτός της ονομαστικής. Το στατικό προφίλ επιτυγχάνεται είτε με προ-προγραμματισμό των φωτιστικών κατά την φάση της εγκατάστασης είτε μέσω συστήματος τηλεδιαχείρισης φωτισμού
2. **Δυναμικό προφίλ ρύθμισης φωτεινής ροής (Variable dimming level).** Εάν στην εγκατάσταση υπάρχει δυνατότητα εποπτείας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο της μεταβολής των παραμέτρων που επηρεάζουν τις κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού, τότε δύναται η χρήση δυναμικού προσαρμοστικού φωτισμού. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε αυτοκινητόδρομους ή / και αστικές λεωφόρους που διαθέτουν εποπτεία της κυκλοφοριακής ροής και μέσω διασύνδεσης του συστήματος φωτισμού με τα κυκλοφοριακά δεδομένα και με κατάλληλη επεξεργασία, μπορεί να επιτευχθεί δυναμικά προσαρμοστικός φωτισμός. Με την συγκεκριμένη μέθοδο, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και διασφαλίζεται πως ο φωτισμός θα ανταποκρίνεται πάντοτε στις κυκλοφοριακές συνθήκες, ακόμα και σε κάποιο έκτακτο γεγονός.

6. Έλεγχος συμμόρφωσης εξοπλισμού εγκαταστάσεων οδοφωτισμού

6.1 Εισαγωγή

Στις μελέτες οδοφωτισμού ορίζεται ότι θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται ειδικό κεφάλαιο «Οδηγιών Ελέγχου Συμμόρφωσης κατά την Υλοποίηση (Ο.Ε.Σ.Υ.)», το οποίο θα περιγράφει τις διαδικασίες που θα πρέπει να ακολουθούνται για τον έλεγχο συμμόρφωσης στη φάση εφαρμογής της μελέτης.

Ο έλεγχος συμμόρφωσης αφορά στους ποιοτικούς και ποσοτικούς ελέγχους που πρέπει να εκτελούνται κατά τη διάρκεια υλοποίησης και μετά την ολοκλήρωση των εργασιών εγκατάστασης εξοπλισμού οδικού φωτισμού.

Ο έλεγχος στοχεύει στη δειγματοληπτική επιβεβαίωση των επιτευχθέντων αποτελεσμάτων είτε αφορά στον καθαυτό εξοπλισμό (φωτιστικά, σύστημα ελέγχου, κ.λπ.) είτε στην εγκατάσταση στο σύνολό της (απόδοση φωτισμού στο πεδίο).

Οι διαδικασίες του ελέγχου συμμόρφωσης θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να βρίσκονται σε συμφωνία με τα προβλεπόμενα (στοιχεία πιστοποίησης, δοκιμές καλής λειτουργίας, κριτήρια αποδοχής τελειωμένης εργασίας κλπ.) στις σχετικές Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΕΤΕΠ / ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-07-02-00 «Ιστοί οδοφωτισμού και φωτιστικά σώματα»). Ο έλεγχος συμμόρφωσης δεν υποκαθιστά σε καμία περίπτωση τους ελέγχους από τους οποίους προκύπτουν τα πιστοποιητικά συμμόρφωσης που προβλέπονται στις Τεχνικές Προδιαγραφές ούτε πιστοποιούν την παραγωγική διαδικασία του εξοπλισμού.

Οι έλεγχοι που θα προβλέπονται στις Ο.Ε.Σ.Υ., ειδικά όσον αφορά τα φωτιστικά σώματα και τις επιδόσεις τους μετά την ενσωμάτωση στην εγκατάσταση οδοφωτισμού, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τις εργαστηριακές μετρήσεις και τους ελέγχους στο πεδίο που περιγράφονται στη συνέχεια.

6.2 Εργαστηριακές μετρήσεις

Σε κάθε νέα εγκατάσταση φωτιστικών σωμάτων σε έργα οδοφωτισμού (είτε αναβάθμιση υφιστάμενης) θα πρέπει να προβλέπονται δειγματοληπτικοί έλεγχοι του εξοπλισμού. Ο αριθμός των δειγμάτων προς έλεγχο εξαρτάται από το εκάστοτε έργο και το πλήθος των διαφορετικών τύπων φωτιστικών σωμάτων. Σε κάθε περίπτωση, οι δειγματοληπτικοί έλεγχοι θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν επαρκώς το σύνολο της εγκατάστασης που ελέγχεται.

Τα δείγματα θα πρέπει να προβλεφθεί να λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης από την ομάδα των φωτιστικών σωμάτων που πρόκειται να εγκατασταθούν στο πεδίο και δεν πρέπει να επιλέγεται προς έλεγχο κάποιο εργοστασιακό δείγμα.

Οι μετρήσεις θα πρέπει να προβλεφθεί να εκτελούνται από φορέα διαπιστευμένο για την εκάστοτε μέτρηση, ο οποίος θα διαθέτει τις κατάλληλες υποδομές και διακριβωμένο εξοπλισμό. Οι μετρήσεις θα πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με ένα από τα πρότυπα EN 13032, CIE S025 ή IES LM79.

Τα μεγέθη που θα πρέπει να προβλεφθεί να ελέγχονται, κατ' ελάχιστο, σε κάθε δείγμα αναγράφονται στον Πίνακα 20. Τα ελεγχόμενα μεγέθη πρέπει να συγκρίνονται με τα παρεχόμενα από τον κατασκευαστή και οι αποκλίσεις δεν πρέπει να ξεπερνούν το αντίστοιχο ποσοστό όπως αναγράφεται στον ίδιο πίνακα.

Πίνακας 20 – Μετρούμενα μεγέθη κατά τον εργαστηριακό έλεγχο φωτιστικών σωμάτων.

Ελεγχόμενο μέγεθος ή χαρακτηριστικό	Μέγιστη απόκλιση από τη δήλωση του κατασκευαστή
Τάση λειτουργίας	-
Συνολικό ρεύμα φωτιστικού σώματος	-
Συνολική ισχύς φωτιστικού σώματος	+ 10%
Συντελεστής ισχύος φωτιστικού σώματος σε πλήρες φορτίο	- 0,05
Αρμονική παραμόρφωση ρεύματος φωτιστικού σώματος έως την 30 ^η αρμονική	+ 2%
Συνολική φωτεινή ροή φωτιστικού σώματος	- 10%
Κατανομή φωτεινής έντασης φωτιστικού σώματος	-
Μέσος όρος θερμοκρασίας χρώματος (CCT) μετρημένη στα επίπεδα C0-C330 με βήμα 60° και στις γωνίες γ=0 έως γ=180° με βήμα 30°).	± 200K
Μεταβολή ισχύος σε σχέση με τη φωτεινή ροή για φωτιστικά με ρυθμιζόμενη φωτεινή ροή από 100% έως 0% της φωτεινής ροής με βήμα ρύθμισης 10%.	-
Φωτεινή πάλμωση φωτιστικού σώματος (PstLM, SVM) στις συνθήκες ονομαστικής λειτουργίας και σε κάθε επίπεδο ρύθμισης φωτεινής ροής.	+ 5%

6.3 Μετρήσεις πεδίου

6.3.1 Κατηγορίες μετρήσεων πεδίου

Οι μετρήσεις πεδίου αφορούν στον έλεγχο της συνολικής απόδοσης μίας εγκατάστασης οδοφωτισμού (φωτιστικά σώματα, τοποθέτηση, γεωμετρικά χαρακτηριστικά κ.λπ.). Ο έλεγχος θα πρέπει να προβλεφθεί στις Ο.Ε.Σ.Υ. να εκτελείται στις κατωτέρω περιπτώσεις (όπως περιγράφονται στη σχετική TOTEE «Σχεδιασμός και Έλεγχος Εγκαταστάσεων Οδοφωτισμού», 2018):

α. Μετρήσεις προ της παράδοσης της εγκατάστασης (Τύπου 1 – T1)

Θα πρέπει να προβλεφθεί να εκτελούνται κατά τη φάση της τελικής παράδοσης του έργου και της διαδικασίας θέσης σε λειτουργία του συστήματος οδοφωτισμού. Ελέγχεται η συμμόρφωση με τις ισχύουσες προδιαγραφές ή και τα αποτελέσματα των μελετών φωτισμού.

β. Μετρήσεις κατά τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης (Τύπου 2 – T2)

Θα πρέπει να προβλεφθεί να εκτελούνται ανά τακτά και προκαθορισμένα διαστήματα λειτουργίας του συστήματος οδοφωτισμού. Με τις μετρήσεις αυτές ελέγχεται ο ρυθμός απομείωσης της εγκατάστασης, εντοπίζονται τυχόν προβλήματα λειτουργίας και ρυθμίζονται τα διαστήματα συντήρησης και επανελέγχου.

γ. Μετρήσεις προσαρμοστικού φωτισμού (Τύπου 3 – T3)

Αφορά σε σειρά μετρήσεων που θα πρέπει να προβλεφθεί να εκτελούνται για τον έλεγχο και τη ρύθμιση εγκαταστάσεων οδοφωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής. Μέσω των μετρήσεων αυτών ελέγχονται τα επιτευχθέντα επίπεδα

προσαρμοστικού φωτισμού ή και ρυθμίζονται ανάλογα. Εκτελούνται σε συνδυασμό με τις μετρήσεις τύπου T1 ή T2

δ. Μετρήσεις για διερεύνηση αποκλίσεων (Τύπου 4 – T4)

Θα πρέπει να προβλεφθεί να εκτελούνται σε περιπτώσεις διερεύνησης αποκλίσεων των επιτευχθέντων επιπέδων φωτισμού σε σχέση με τις μελέτες φωτισμού ή τις προδιαγραφές του έργου για υπαιτιότητα εξοπλισμού, τρόπου εγκατάστασης, ιδιοτήτων ασφάλτου, περιβαλλοντικών ή άλλων παραγόντων.

Οι μετρήσεις εκτελούνται από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό και σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN13021-4. Επιπρόσθετες απαιτήσεις ελέγχου δύναται να προβλεφθούν από τον μελετητή. Τα όργανα μέτρησης των φωτομετρικών, των γεωμετρικών και των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών θα πρέπει να προβλεφθεί να είναι κατάλληλα για την χρήση που προορίζονται, να διαθέτουν εν ισχύ, κατά την περίοδο εκτέλεσης των μετρήσεων, πιστοποιητικά διακρίβωσης με ιχνηλασιμότητα και να καλύπτουν το εύρος μέτρησης κάθε μεγέθους που αναμένεται να μετρηθεί στο πεδίο.

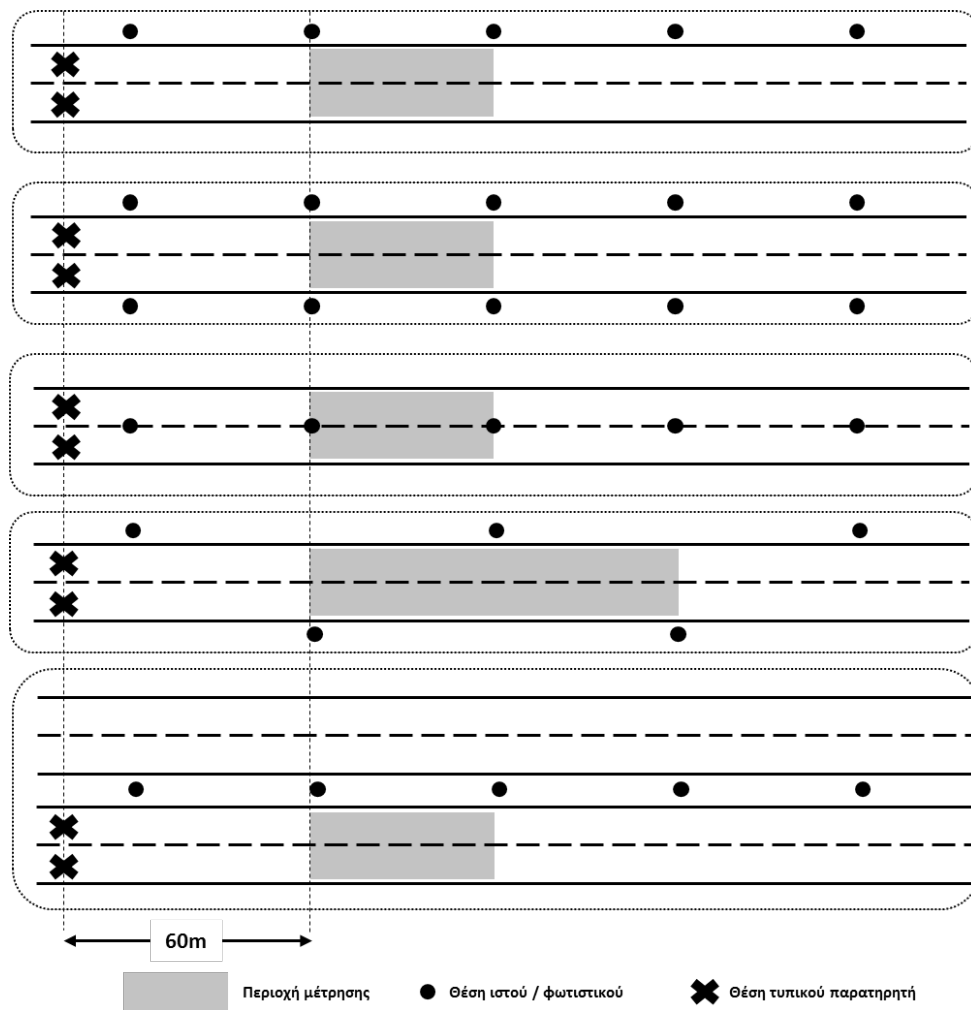
Οι αναφορές επί των μετρήσεων θα πρέπει να προβλεφθούν αναλυτικές με αναγραφή των επιμέρους μετρήσεων, υπολογισμό των δεικτών ποιότητας (όπου είναι απαραίτητο), των γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης, των καιρικών συνθηκών κ.α. σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN13021-4.

6.3.2 Ορισμός περιοχών μετρήσεων πεδίου

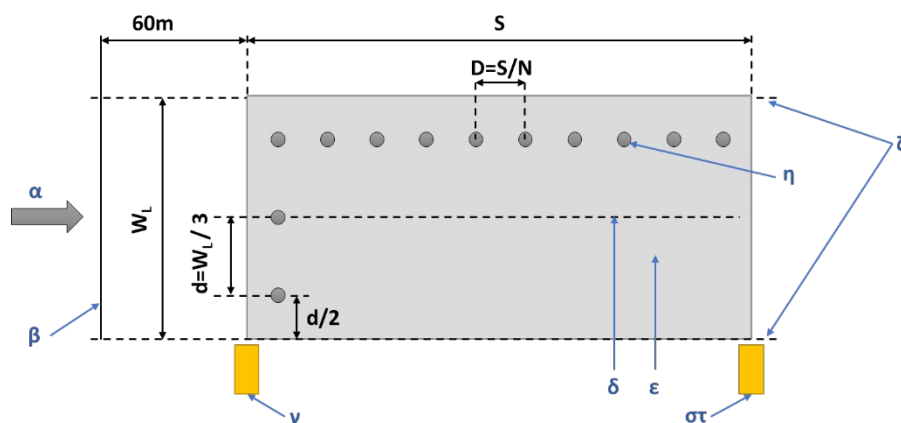
Οι μετρήσεις πεδίου εκτελούνται σε αντιπροσωπευτικούς κανάβους σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN13021-4. Οι τυπικές περιπτώσεις περιοχών μέτρησης παρουσιάζονται στην Εικόνα 8.

Ένας κανάβος μέτρησης ορίζεται μεταξύ δύο συνεχόμενων ιστών φωτισμού (από την ίδια πλευρά της οδού) όπως φαίνεται στην Εικόνες 9 και 10. Σε κάθε τυπική γεωμετρία που ελέγχεται (απόσταση ιστών, ύψη, πλάτη οδών, τύπος φωτιστικού κ.λπ.) θα πρέπει να προβλεφθεί να μετρώνται τουλάχιστον 2 κανάβοι.

Σε κάθε περίπτωση, η περιοχή ή οι περιοχές εκτέλεσης των μετρήσεων πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά ώστε να αποτελούν τα αντιπροσωπευτικά τμήματα της υπό εξέταση οδού ή της εγκατάστασης γενικότερα



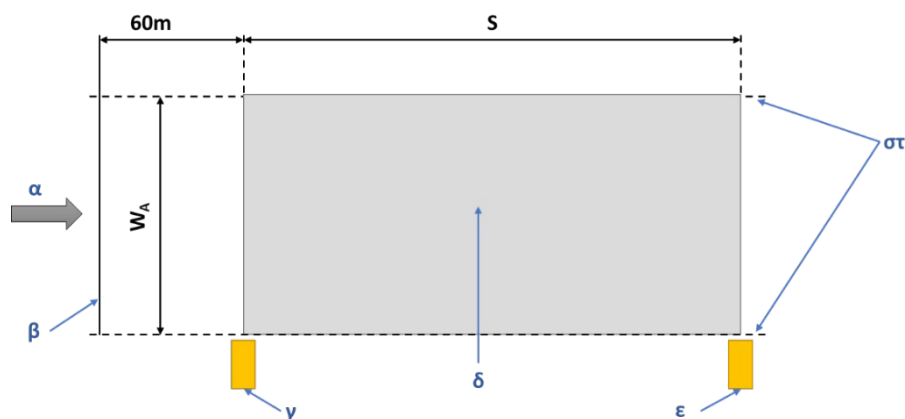
Εικόνα 8 – Τυπικές περιοχές μέτρησης φωτομετρικών χαρακτηριστικών οδοφωτισμού σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-3 (πηγή ΤΟΤΕΕ, 2018).



Εικόνα 9 – Τυποποιημένος κάναβος μετρήσεων λαμπρότητας ή έντασης φωτισμού σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-3 (πηγή TOTEE, 2018).

Τα μεγέθη της Εικόνας 9 ορίζονται ως εξής:

- α** : Κατεύθυνση παρατηρητή
- β** : Διαμήκης θέση παρατηρητή
- γ** : Πρώτο φωτιστικό στην περιοχή των μετρήσεων
- δ** : Κεντρικός άξονας της λωρίδας κυκλοφορίας
- ε** : Περιοχή μετρήσεων
- στ** : Τελευταίο φωτιστικό στην περιοχή των μετρήσεων
- ζ** : Όρια λωρίδας κυκλοφορίας
- η** : σημεία μέτρησης
- W_L** : Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας
- S** : Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων
- D** : Η διαμήκης απόσταση των σημείων μέτρησης ($D = S / N$)
- N** : Ο απαιτούμενος αριθμός σημείων μέτρησης κατά μήκος της οδού
Για $S < 30\text{m}$, $N = 10$.
Για $S > 30\text{m}$, το N ισούται με τον ελάχιστο ακέραιο που δίνει $D \leq 3\text{m}$



Εικόνα 10 – Λήψη του συνόλου της περιοχής μέτρησης για μέτρηση λαμπρότητας με συσκευή ILMD σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201-3 (πηγή TOTEE, 2018).

Τα μεγέθη της Εικόνας 10 ορίζονται ως εξής:

- α : Κατεύθυνση παρατηρητή
- β : Διαμήκης θέση παρατηρητή
- γ : Πρώτο φωτιστικό στην περιοχή των μετρήσεων
- δ : Περιοχή μετρήσεων
- ϵ : Τελευταίο φωτιστικό στην περιοχή των μετρήσεων
- σ : Όρια λωρίδας κυκλοφορίας
- W_A : Το πλάτος της περιοχής μέτρησης
- S : Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων

Σε κάθε κάναβο μετρώνται τα αντίστοιχα με την κλάση μεγέθη φωτισμού (λαμπρότητα ή ένταση φωτισμού) και υπολογίζονται οι αντίστοιχοι ποιοτικοί και ποσοτικοί δείκτες

6.3.3 Όργανα μέτρησης πεδίου

Τα όργανα μέτρησης των φωτομετρικών, των γεωμετρικών και των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μίας εγκατάστασης οδοφωτισμού πρέπει να είναι σχεδιασμένα για τη χρήση που προορίζονται, να διαθέτουν εν ισχύ πιστοποιητικά διακρίβωσης, και να καλύπτουν την εύρος μέτρησης κάθε μετρούμενου μεγέθους που αναμένεται να μετρηθεί στο πεδίο. Στον Πίνακα 21 αναγράφονται οι ενδεικτικές απαιτήσεις των οργάνων μέτρησης.

Πίνακας 21 – Ενδεικτικές απαιτήσεις οργάνων μέτρησης εγκαταστάσεων οδοφωτισμού (πηγή TOTEE, 2018).

Τύπος μέτρησης	Χαρακτηριστικό	Απαίτηση
Ένταση φωτισμού (φορητό όργανο)	Εύρος μέτρησης	0,1 – 10000 lx ή ευρύτερο
	Ακρίβεια	±3% ±1 ψηφίο
	Επαναληψιμότητα	±1% ±1 ψηφίο
	Ακρίβεια φίλτρου V(λ)	f1' <6%
	Διόρθωση συνημίτονου	f2 < 3%
	Φασματική διόρθωση	Ναι
Λαμπρότητα (φορητό αναλογικό όργανο)	Εύρος μέτρησης	0,01 – 10000 cd/m ² ή ευρύτερο
	Οπτικό πεδίο	2' της μοίρας κατά μήκος 20' της μοίρας πλάτος
	Ακρίβεια φίλτρου V(λ)	f1' <6%
	Φασματική διόρθωση	Ναι
	Ακρίβεια	±3% ±1 ψηφίο
	Επαναληψιμότητα	±1% ±1 ψηφίο
Λαμπρότητα (συσσκευή ILM D)	Εύρος μέτρησης	0,001 – 10000 cd/m ² ή ευρύτερο
	Ανάλυση εικόνας	640x480 pixel ή μεγαλύτερη
	Οπτικό πεδίο	>20° οριζόντια >10° κατακόρυφα
	Ακρίβεια φίλτρου V(λ)	f1' <6%
	Φασματική διόρθωση	Ναι
	Ακρίβεια	±3% ±1 ψηφίο
	Διόρθωση σκίασης φακού	NAI
	Διόρθωση θορύβου	NAI
Φάσμα / θερμ. χρώματος (φορητό φασματόμετρο ή χρωματόμετρο)	Εύρος φασματική απόκρισης οργάνου	380-780 nm ή ευρύτερο
	Ανάλυση μέτρησης (φασματόμετρο)	1nm ή μικρότερη
	Υπολογισμός θερμοκρασίας χρώματος (T)	NAI
	Υπολογισμός Ra	Επιθυμητός
Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (φορητός αναλυτής ισχύος)	Μέτρηση τάσης (V)	NAI
	Μέτρηση ρεύματος (I)	NAI
	Μέτρηση Ισχύος (VA, W, Var)	NAI
	Μέτρηση συντελεστή ισχύος (λ)	NAI
	Μέτρηση αρμονικής παραμόρφωσης (THD)	NAI
Μέτρηση αποστάσεων (αποστασιόμετρο ή μετροταινία)	Εύρος μέτρησης	0 – 100 m ή ευρύτερο
	Ακρίβεια αποστασιομέτρου	±3% ±1 ψηφίο
	Ακρίβεια μετροταινίας	0,1 ή καλύτερη
Περιβαλλοντικά μεγέθη (φορητό θερμόμετρο)	Μέτρηση θερμοκρασίας	NAI
	Μέτρηση σχετικής υγρασίας	NAI
	Αποθήκευση χρονοσειράς μετρήσεων	NAI

6.3.4 Μετρήσεις λαμπρότητας (κλάσεις φωτισμού M)

Ο έλεγχος συμμόρφωσης εγκαταστάσεων οδοφωτισμού κλάσης M πραγματοποιείται με τη μέτρηση της λαμπρότητας οδοστρώματος. Οι μετρήσεις εκτελούνται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN13201-4 σε κάναβο που φαίνεται στις Εικόνες 9 ή 10. Οι κάναβοι μετρήσεων θα πρέπει να προβλεφθεί να επιλέγονται μεταξύ 2 συνεχόμενων φωτιστικών τα οποία θα βρίσκονται εντός ομάδας τουλάχιστον 4 όμοιων φωτιστικών σωμάτων επί όμοιας εγκατάστασης. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιείται όργανο μέτρησης λαμπρότητας σύμφωνα με τα προαναφερόμενα.

Οι μετρήσεις εκτελούνται από απόσταση 60m από την αρχή του κανάβου και από ύψος 1.5m από το έδαφος. Στην περίπτωση που η απόσταση των 60m δεν είναι εφικτή, οι μετρήσεις μπορούν να εκτελούνται από μικρότερο ύψος και μικρότερη απόσταση αλλά σε κάθε

περίπτωση η σχετική γωνία της θέσης μέτρησης από την αρχή του κανάβου θα πρέπει να είναι περί τη 1 μοίρα.

Οι μετρήσεις εκτελούνται επί στεγνού οδοστρώματος, χωρίς υγρασία και ξένα σώματα όπως σταθμευμένα οχήματα, οικοδομικά υλικά, και άλλα εμπόδια επί του κανάβου. Σε κάθε περίπτωση, ο παράσιτος φωτισμός, εφόσον υπάρχει, πρέπει να αφαιρείται μέσω μίας επιπρόσθετης μέτρησης με τα φωτιστικά σώματα σβηστά, αν αυτό είναι εφικτό. Στην περίπτωση που το υπό μέτρηση τμήμα περιέχει τμήματα ασφάλτου διαφορετικής ποιότητας και χρονολογίας επίστρωσης ή αλλοιώσεις από τη χρήση πρέπει να επιλέγεται εναλλακτικός κανάβος μετρήσεων. Σε διαφορετική περίπτωση αυτό πρέπει να επισημαίνεται σαφώς στην αναφορά επί των μετρήσεων. Στην περίπτωση ελέγχου νέας εγκατάστασης η κατάσταση της ασφάλτου και η παλαιότητά της πρέπει υποχρεωτικά να σημειώνονται.

6.3.5 Μετρήσεις έντασης φωτισμού (κλάσεις φωτισμού C και P)

Ο έλεγχος συμμόρφωσης εγκαταστάσεων οδοφωτισμού κλάσης C και P πραγματοποιείται με τη μέτρηση της έντασης φωτισμού στην υπό εξέταση επιφάνεια οδοστρώματος. Οι μετρήσεις εκτελούνται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN13201-4 σε κανάβο που φαίνεται στην Εικόνα 9. Οι κανάβοι μετρήσεων θα πρέπει να προβλεφθεί να επιλέγονται μεταξύ 2 συνεχόμενων φωτιστικών τα οποία θα βρίσκονται εντός τουλάχιστον 4 φωτιστικών σωμάτων επί όμοιας εγκατάστασης. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιείται όργανο μέτρησης έντασης φωτισμού σύμφωνα με τα προαναφερόμενα.

Οι μετρήσεις εκτελούνται σε κάθε σημείο του κανάβου σε επαφή με το έδαφος σε οριζόντια θέση. Η τιμή της έντασης φωτισμού κάθε σημείου καταγράφεται εφόσον η ένδειξη του οργάνου σταθεροποιείται. Σε κάθε περίπτωση, ο παράσιτος φωτισμός, εφόσον υπάρχει, πρέπει να αφαιρείται μέσω μίας επιπρόσθετης μέτρησης με τα φωτιστικά σώματα σβηστά (αν αυτό είναι εφικτό). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη δημιουργία σκιών στον αισθητήρα του οργάνου από το σώμα του οργάνου, από το χειριστή του οργάνου ή από διάφορα εμπόδια πέριξ και εντός του κανάβου μέτρησης.

6.3.6 Μέτρηση γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών

Παράλληλα με τα μετρούμενα φωτομετρικά μεγέθη, τα ακόλουθα μεγέθη θα πρέπει επίσης να προβλεφθεί να καταγράφονται.

- Πλάτος οδού
- Πλάτος κάθε λωρίδας κυκλοφορίας
- Πλάτος λωρίδας έκτακτης ανάγκης
- Απόσταση ιστών στην περιοχή μέτρησης συν ένα πριν και ένα μετά.
- Ύψος φωτιστικών σωμάτων στην περιοχή μέτρησης συν ένα πριν και ένα μετά.
- Απόσταση κάθε φωτιστικού από την αρχή της πλησιέστερης λωρίδας
- Κλίση φωτιστικού σώματος σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο
- Επίκλιση οδοστρώματος
- Τύπος κάθε φωτιστικού σώματος.

Εφόσον υπάρχει δυνατότητα ηλεκτρικών μετρήσεων, αυτές θα πρέπει να προβλεφθεί να εκτελούνται σε κάθε φωτιστικό σώμα χωριστά ή σε καθορισμένο αριθμό όμοιων φωτιστικών σωμάτων.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας πρέπει να καταγράφονται καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

7. Διεθνείς και ευρωπαϊκές τεχνικές οδηγίες για τον φωτισμό σηράγγων

Τα πρότυπα και οι τεχνικές αναφορές που διέπουν το φωτισμό σηράγγων είναι κατά κύριο λόγο τα ακόλουθα τρία.

7.1 CIE 88 – Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses

Η τεχνική έκθεση CIE 88 αποτελεί την κύρια πηγή πληροφόρησης για το σχεδιασμό φωτισμού σηράγγων τόσο στην Ευρώπη όσο και διεθνώς. Στη αναφορά αυτή έχει στηριχθεί και η πιο πρόσφατη (χρονικά) ευρωπαϊκή τεχνική αναφορά CEN CR 14380 η οποία περιγράφεται στη συνέχεια. Οι δύο αυτές τεχνικές αναφορές μοιράζονται το μεγαλύτερο ποσοστό των πληροφοριών με τις διαφορές τους να εντοπίζονται σε επιλεγμένα σημεία.

Η πλέον πρόσφατη έκδοση της CIE 88 δημοσιεύτηκε το 2004 (2^η έκδοση) και από το 2017 βρίσκεται υπό αναθεώρηση. Η νέα έκδοση αναμένεται να δημοσιευτεί εντός του 2023 ή του 2024.

Η αναφορά CIE 88 περιλαμβάνει τις οδηγίες για την επιλογή της κλάσης, τις απαιτήσεις φωτισμού και τις μεθόδους σχεδιασμού φωτισμού σε σήραγγες και υπόγειες διαβάσεις. Μερικές από τις βασικές ενότητες είναι οι ακόλουθες:

- Διαχωρισμός μεταξύ σηράγγων μεγάλου και μικρού μήκους
- Ζώνες φωτισμού σηράγγων
- Παράμετροι επιλογής κλάσης και απαιτήσεων
- Υπολογισμός της εξωτερικής λαμπρότητας στομίου (L_{20} ή L_{seq})
- Ορισμός καμπύλης μεταβολής της λαμπρότητας κατά μήκος της σήραγγας
- Φωτισμός ασφαλείας
- Θέματα συντήρησης και λειτουργίας
- Λοιπές προτάσεις και οδηγίες σχεδιασμού

Πάνω στη CIE 88 έχουν βασιστεί οι περισσότερες μελέτες φωτισμού στην Ελλάδα και σε ολόκληρο τον κόσμο. Ειδικά λογισμικά έχουν αναπτυχθεί ώστε να λαμβάνουν υπόψη τις συστάσεις και τις παραμέτρους επιλογής των απαιτήσεων φωτισμού που αυτή η τεχνική έκθεση περιγράφει.

7.2 CIE 189 – Calculation of tunnel lighting quality criteria

Η τεχνική έκθεση CIE 189 δημοσιεύθηκε από την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού το 2010 με στόχο να καθορίσει τις παραμέτρους υπολογισμού των φωτομετρικών μεγεθών για το φωτισμό σηράγγων. Αποτελεί την πλέον αποδεκτή πηγή πληροφοριών για την ανάπτυξη λογισμικών φωτομετρικών υπολογισμών φωτισμού σηράγγων. Το σύνολο των λογισμικών για μελέτες αυτού του είδους έχουν υιοθετήσει τη μεθοδολογία υπολογισμών που περιγράφεται στην έκθεση CIE 189.

7.3 CEN CR 14380 - Lighting applications - Tunnel lighting

Η τεχνική έκθεση CEN CR 14380 δημοσιεύτηκε το 2003 και υιοθετήθηκε από τον ΕΛΟΤ το 2004 ως ΕΛΟΤ CR 14389. Αφορά ουσιαστικά την ευρωπαϊκή εκδοχή του CIE 88 για το φωτισμό σηράγγων με ορισμένες προσθήκες και παραλλαγές. Η έκθεση αυτή έχει υιοθετηθεί

κυρίως από τις ευρωπαϊκές χώρες και στις περισσότερες από αυτές είτε χρησιμοποιείται παράλληλα με τη CIE 88 ή την έχει άτυπα υποκαταστήσει. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται επίσης παράλληλα με τη CIE 88. Τα περιεχόμενα της έκθεσης αυτής είναι παραπλήσια με της CIE 88 όπως αναφέρθηκαν στην §7.1.

8. Απαιτήσεις φωτισμού σηράγγων

Ο παρών κανονισμός αντλεί μεθοδολογίες που περιγράφονται στην τεχνική έκθεση CEN CR14380. Στην περίπτωση που δημοσιευθεί νέα έκδοση της CEN CR 14380 ή της CIE 88 (ανάλογα ποια θα είναι πιο πρόσφατη) θα γίνει η επικαιροποίηση του παρόντος κανονισμού εφόσον κριθεί ότι τα γραφόμενα στις νέες αυτές εκδόσεις εισαγάγουν σημαντικές αλλαγές.

Μεταξύ των προτεινόμενων μεθοδολογιών για να επιλέξει ένας μελετητής, ενδεικτικά προτείνεται η ακόλουθη:

8.1 Διαχωρισμός σηράγγων σε μεγάλου και μικρού μήκους

Οι σήραγγες ή οι υπόγειες διαβάσεις θα πρέπει να διαθέτουν σύστημα ημερήσιου φωτισμού εφόσον έχουν μήκος μεγαλύτερο των 200m. Οι σήραγγες μήκους μικρότερου των 25m δεν χρήζουν ημερήσιου φωτισμού ενώ αυτές που έχουν ενδιάμεσα μήκη θα πρέπει να εξετάζονται με την μέθοδο του LTP (δείτε §8.2). Στον Πίνακα 22 συνοψίζονται τα ανωτέρω.

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να εξετάζονται ενδελεχώς τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των σηράγγων και στην περίπτωση που κρίνεται σκόπιμο δύναται για ιδιαίτερους λόγους ασφαλείας να φωτίζονται κατά την ημέρα και σήραγγες μικρότερες των 25m.

Πίνακας 22: Ανάγκη χρήση ημερήσιου φωτισμού σηράγγων

Μήκος σήραγγας	Ανάγκη ημερήσιου φωτισμού
> 200m	Ναι
Μεταξύ 25m και 200m	Διερεύνηση μέσω μεθόδου LTP
< 25m	Όχι

8.2 Διερεύνηση ανάγκης χρήσης ημερήσιου φωτισμού (μέθοδος LTP)

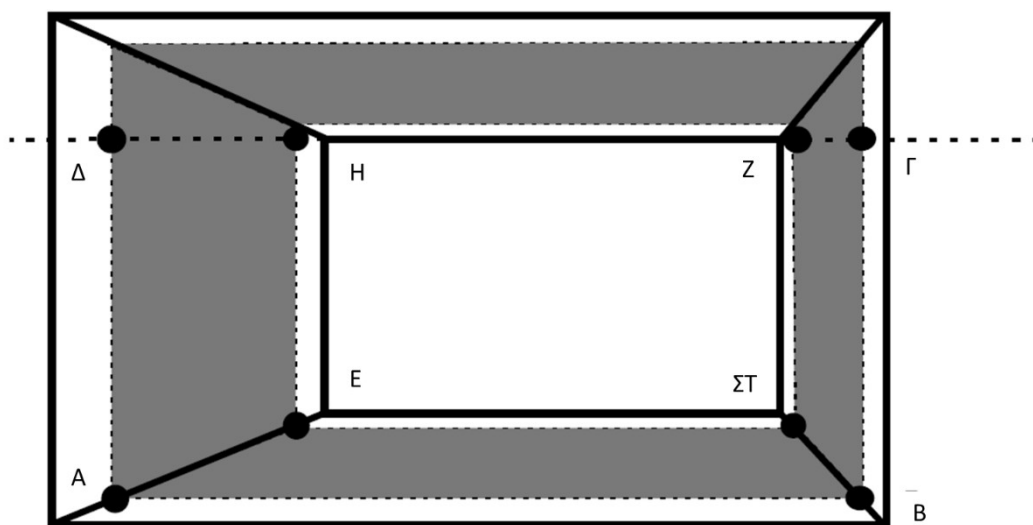
Για τις σήραγγες συνολικού μήκους από 25m έως και 200m πρέπει να πραγματοποιείται διερεύνηση της ανάγκης χρήσης συστήματος ημερήσιου φωτισμού μέσω του υπολογισμού του δείκτη LTP. Ο δείκτης αυτός αφορά το ποσοστό ορατότητας της εξόδου της σήραγγας σε σχέση με την είσοδο της σήραγγας (Look Through Percentage – LTP) και ορίζεται από τη Εξ.(9).

$$LTP = 100 \cdot (\text{επιφάνεια ΕΣΤΖΗ}) / (\text{επιφάνεια ΑΒΓΔ}) \quad (9)$$

Οι επιφάνειες που αναγράφονται στη Εξ.(9) ορίζονται στο γενικευμένο σχέδιο της Εικόνας 11. Ο υπολογισμός του LTP γίνεται είτε από το σχέδιο της σήραγγας είτε από φωτογραφία αυτής. Σε κάθε περίπτωση το οπτικό πεδίο ορίζεται από την εικόνα/σχέδιο όταν ο παρατηρητής βρίσκεται:

- στην απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης από το στόμιο της σήραγγας
- σε ύψος 1,2 m από το έδαφος
- στο κέντρο της κάθε λωρίδας

Στην περίπτωση π.χ. 3 λωρίδων λαμβάνονται 3 εικόνες ή 3 σχέδια και ο LTP υπολογίζεται για την κάθε λωρίδα κυκλοφορίας



Εικόνα 11: Γενικευμένο σχέδιο εφαρμογής μεθόδου LTP.

Σύμφωνα με την Εικόνα 11, η οροφή της σήραγγας δεν λαμβάνεται υπ' όψιν. Επίσης, λόγω της εισροής του φυσικού φωτισμού στη σήραγγα (είσοδο και έξοδο) ένα μέρος μετά την είσοδο (~5m) και ένα μέρος προ της εξόδου (~10m) δεν λαμβάνονται υπ' όψιν στον υπολογισμό του LTP.

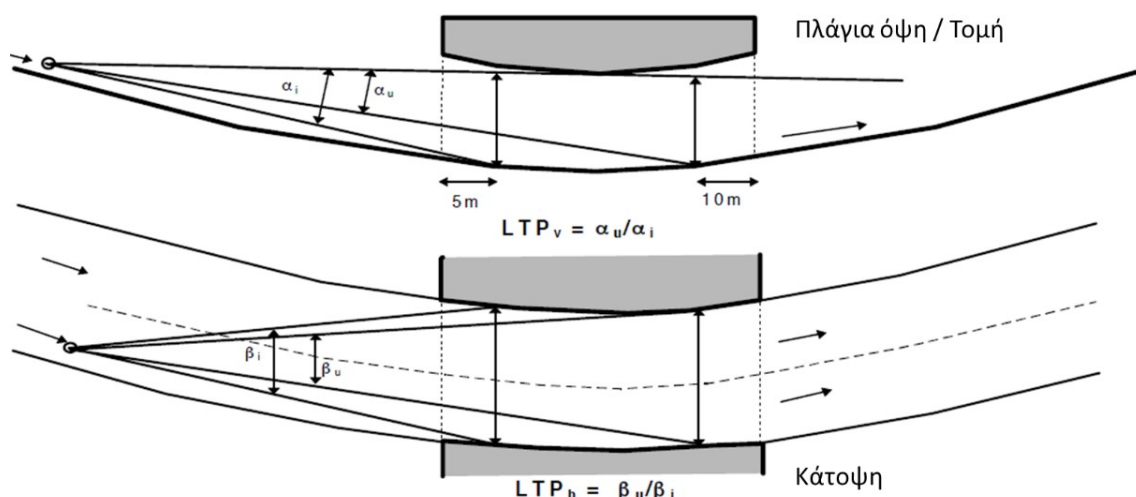
Στην περίπτωση σιράγγων ή διαβάσεων που έχουν καμπυλότητα τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο, ο έλεγχος είναι προτιμότερο να πραγματοποιηθεί από τα σχέδια και ο υπολογισμός του LTP γίνεται με τη χρήση της Εξ.(10). Οι αντίστοιχες γωνίες της Εξ. (10) φαίνονται στο γενικευμένο σχέδιο της Εικόνας 12.

$$LTP = 100 \cdot (\beta_u / \beta_i) \cdot (\alpha_u / \alpha_i) \quad (10)$$

Η απόφαση για τη χρήση ημερήσιου φωτισμού σύμφωνα με τον LTP παρουσιάζεται στον Πίνακα 23.

Πίνακας 23: Χρήση ημερήσιου φωτισμού σιράγγων σε σχέση με τον LTP

Τιμή LTP	Ανάγκη ημερήσιου φωτισμού
< 20%	Ναι
> 50%	Όχι
Μεταξύ 20% και 50%	Διερεύνηση ορατότητας οχημάτων/πεζών/ποδηλατών



Εικόνα 12: Γενικευμένο σχέδιο εφαρμογής μεθόδου LTP σε σήραγγες με καμπυλότητα

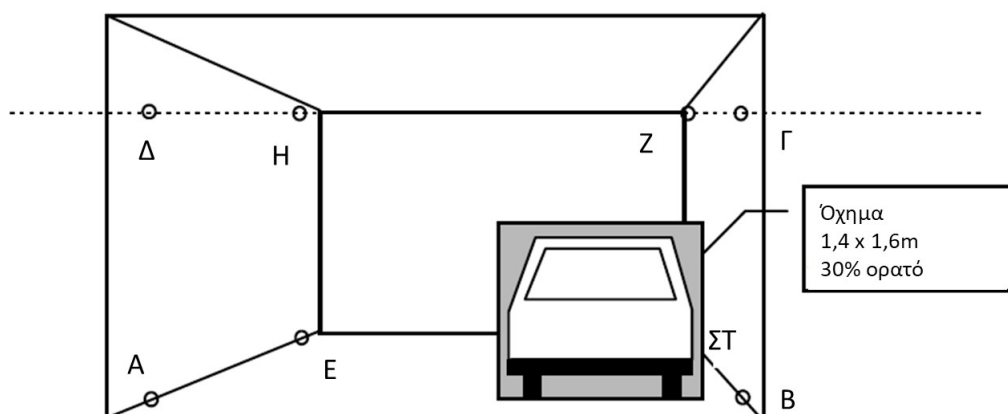
Στις περιπτώσεις που ο LTP υπολογίζεται μεταξύ 20% και 50% πραγματοποιείται διερεύνηση εντοπισμού στόχου σύμφωνα με τις Εικόνες 13 (για περιπτώσεις σήραγγων με μόνο μηχανοκίνητα οχήματα) και 14 (για σήραγγες μεικτής χρήσης από οχήματα πεζούς και ποδηλάτες). Στην κάθε περίπτωση τοποθετείται ένα εικονικό εμπόδιο αυτοκινήτου ή πεζού αντίστοιχα, στο κέντρο της λωρίδας κυκλοφορίας που ελέγχεται και υπολογίζεται το ποσοστό του εμποδίου που είναι ορατό συγκρινόμενο με την έξοδο της σήραγγας.

Το τυπικό εμπόδιο ως όχημα έχει διαστάσεις 1,4m x 1,6m.

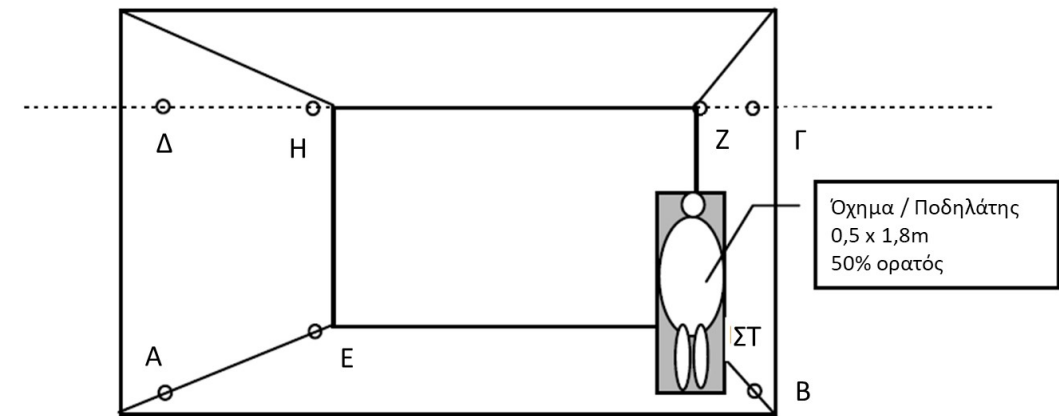
Το τυπικό εμπόδιο ως πεζός/ποδηλάτης έχει διαστάσεις 0,5m x 1,8m.

Η χρήση ημερήσιου φωτισμού είναι απαραίτητη όταν:

- Περισσότερο του 30% του τυπικού εμποδίου αυτοκινήτου είναι μη ορατό σε σχέση με την έξοδο της σήραγγας
- Περισσότερο του 30% του τυπικού εμποδίου πεζού/ποδηλάτη είναι μη ορατό σε σχέση με την έξοδο της σήραγγας



Εικόνα 13: Γενικευμένο σχέδιο εφαρμογής μεθόδου LTP με εμπόδιο όχημα (παράδειγμα).



Εικόνα 14: Γενικευμένο σχέδιο εφαρμογής μεθόδου LTP με εμπόδιο πεζό ή ποδηλάτη (παράδειγμα).

8.3 Υπολογισμός μέγιστης εξωτερικής λαμπρότητας L_{20}

Ο υπολογισμός της μέγιστης εξωτερικής λαμπρότητας L_{20} της σήραγγας πραγματοποιείται με τη χρήση σχεδίου ή φωτογραφίας του στομίου της σήραγγας από την απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης. Στην Εικόνα 15 φαίνεται το σχέδιο μίας τυπικής σήραγγας από την απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης.

Η λαμπρότητα L_{20} υπολογίζεται με τη χρήση της Εξ.(11):

$$L_{20} = \gamma L_c + \rho L_R + \epsilon L_E + \tau L_{th} \quad \text{με: } \gamma + \rho + \epsilon + \tau = 1 \quad (\text{cd/m}^2) \quad (11)$$

όπου: L_c είναι η λαμπρότητα του ουρανού, γ το ποσοστό κάλυψης του ουρανού, L_R η λαμπρότητα της οδού, ρ το ποσοστό κάλυψης της οδού, L_E η λαμπρότητα του περιβάλλοντος χώρου, ϵ το ποσοστό κάλυψης του περιβάλλοντος χώρου, L_{th} η λαμπρότητα κατωφλίου (ή του στομίου της σήραγγας) και τ το ποσοστό κάλυψης του στομίου της σήραγγας. Όλα τα ανωτέρω ορίζονται για το οπτικό πεδίο των 20° .

Η προοπτική του σχεδίου που χρησιμοποιείται ή η φωτογραφία που λαμβάνεται πρέπει να έχει θέση παρατήρησης/λήψης ως εξής:

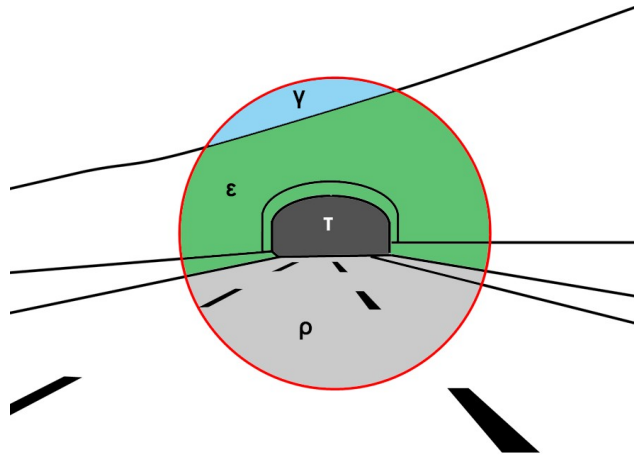
- Στην απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης από το στόμιο της σήραγγας
- Σε ύψος 1,2m από το έδαφος
- Από το κέντρο του συνολικού πλάτους του οδοστρώματος
- Με κατεύθυνση το κέντρο του στομίου της σήραγγας

Από την Εξ.(11), η λαμπρότητα του στομίου της σήραγγας (L_{th}) είναι άγνωστη και το ζητούμενο του σχεδιασμού της σήραγγας. Για απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης μεγαλύτερης των 100m, η τιμή τ θεωρείται χαμηλή (μικρότερη του 10%) και η λαμπρότητα κατωφλίου / στομίου της σήραγγας L_{th} αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες τιμές λαμπρότητας του L_{20} . Άρα η συνεισφορά του παράγοντα L_{th} μπορεί να παραληφθεί. Επομένως:

$$L_{20} = \gamma L_c + \rho L_R + \epsilon L_E \quad (\text{cd/m}^2) \quad (12)$$

με:

$$\gamma + \rho + \epsilon < 1 \quad (13)$$



Εικόνα 15: Παράδειγμα σχεδίου σήραγγας από την απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης για τον υπολογισμό της λαμπρότητας L_{20}

Η μέγιστη λαμπρότητα L_{20} υπολογίζεται σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 24 και τα ποσοστά κάλυψης από τη φωτογραφία ή το αντίστοιχο σχέδιο.

Πίνακας 24: Τιμές λαμπρότητας επιμέρους συντελεστών L_{20} για κάθε τύπο και προσανατολισμό.

Κατεύθυνση οδήγησης	L_c (ουρανός) kcd/m^2	L_R (οδόστρωμα) kcd/m^2	L_E (περιβάλλον) kcd/m^2			
			Βράχος	Κτήρι α	Χιόνι	Φύτευση
Βορράς	8	3	3	8	15 (K/O)	2
Ανατολή Δύση	12	4	2	6	10 (K)	2
					15 (O)	
Νότος	16	5	1	4	5 (K)	2
					15 (O)	

(K) Κάθετες επιφάνειες, (O) Οριζόντιες επιφάνειες

8.4 Επιλογή κλάσης φωτισμού και συντελεστή k

Για της σήραγγες μεγάλου μήκος και για εκείνες που απαιτείται ημερήσιος φωτισμός επιλέγεται η κατάλληλη κλάση της σήραγγας και του συντελεστή k σύμφωνα με τους Πίνακες 4-6 με στόχο τον υπολογισμό της λαμπρότητας κατωφλίου L_{th} . Η λαμπρότητα L_{th} υπολογίζεται από την Εξ.(14) και αποτελεί την απαιτούμενη λαμπρότητα της ζώνης εισόδους της σήραγγας.

$$L_{th} = k \cdot L_{20} \quad (\text{cd/m}^2) \quad (14)$$

Για το καθορισμό της κλάσης της σήραγγας πρέπει να χρησιμοποιούνται τα κυκλοφοριακά δεδομένα (με εκτίμηση σε ορίζοντα 10ετίας) και στην περίπτωση που δεν υφίστανται τότε πρέπει να γίνουν ασφαλείς παραδοχές.

Οι σήραγγες χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τον τύπο των χρηστών:

- Μηχανοκίνητα οχήματα μόνο (A)
- Μεικτή χρήση που περιλαμβάνει και πεζούς/ποδηλάτες (M)

Από τον Πίνακα 25 επιλέγεται με βάση τον κυκλοφοριακό φόρτο και τον τύπο των χρηστών σε ποια από τις 4 κατηγορίες ανήκει η σήραγγα και στον Πίνακα 26 δίνονται οι κατηγορίες του κυκλοφοριακού φόρτου σε οχήματα ανά ώρα και λωρίδα κυκλοφορίας.

Πίνακας 25: Επιλογή κλάσης σήραγγας

Κυκλοφοριακός φόρτος	Υψηλός		Μεσαίος		Χαμηλός	
Τύπος χρηστών	M	A	M	A	M	A
Κλάση σήραγγας	4	3	3	2	2	1

Πίνακας 26: Κυκλοφοριακός φόρτος σε σχέση με την κυκλοφοριακή ροή

Κυκλοφοριακός φόρτος	Σήραγγες μονής κατεύθυνσης (ροή σε οχήματα/h · λωρίδα)	Σήραγγες διπλής κατεύθυνσης (ροή σε οχήματα/h · λωρίδα)
Υψηλός	> 1500	> 400
Μεσαίος	500 – 1500	100 – 400
Χαμηλός	< 500	< 100

Πίνακας 27: Τιμές συντελεστή k σε σχέση με την απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης

Κλάση σήραγγας	Απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης (m)		
	60	100	160
4	0,05	0,06	0,10
3	0,04	0,05	0,07
2	0,03	0,04	0,05
1	Απαραίτητος μόνο ο φωτισμός καθοδήγησης		

Η απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης που απαιτείται για τη χρήση του Πίνακα 27 καθώς και για τον καθορισμό του μήκους των ζωνών φωτισμού της σήραγγας (δείτε §8.5) υπολογίζεται με τη χρήση της Εξ.(15).

$$SD = u \cdot t_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g \cdot (f \pm s)} \quad (\text{m}) \quad (15)$$

όπου:

u: η ταχύτητα σχεδιασμού

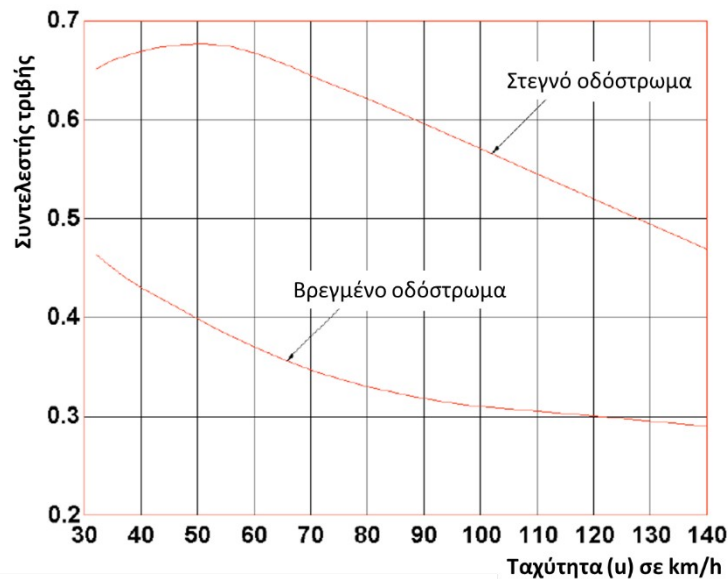
t₀: ο χρόνος αντίδρασης (συνήθως 1sec)

f: ο συντελεστής τριβής

g: η επιτάχυνση της βαρύτητας

s: η κλίση του οδοστρώματος (+) ανωφέρεια, (-) κατωφέρεια

Στην περίπτωση που ο συντελεστής τριβής δεν είναι γνωστός μπορεί να εκτιμηθεί από το διάγραμμα της Εικόνας 16.



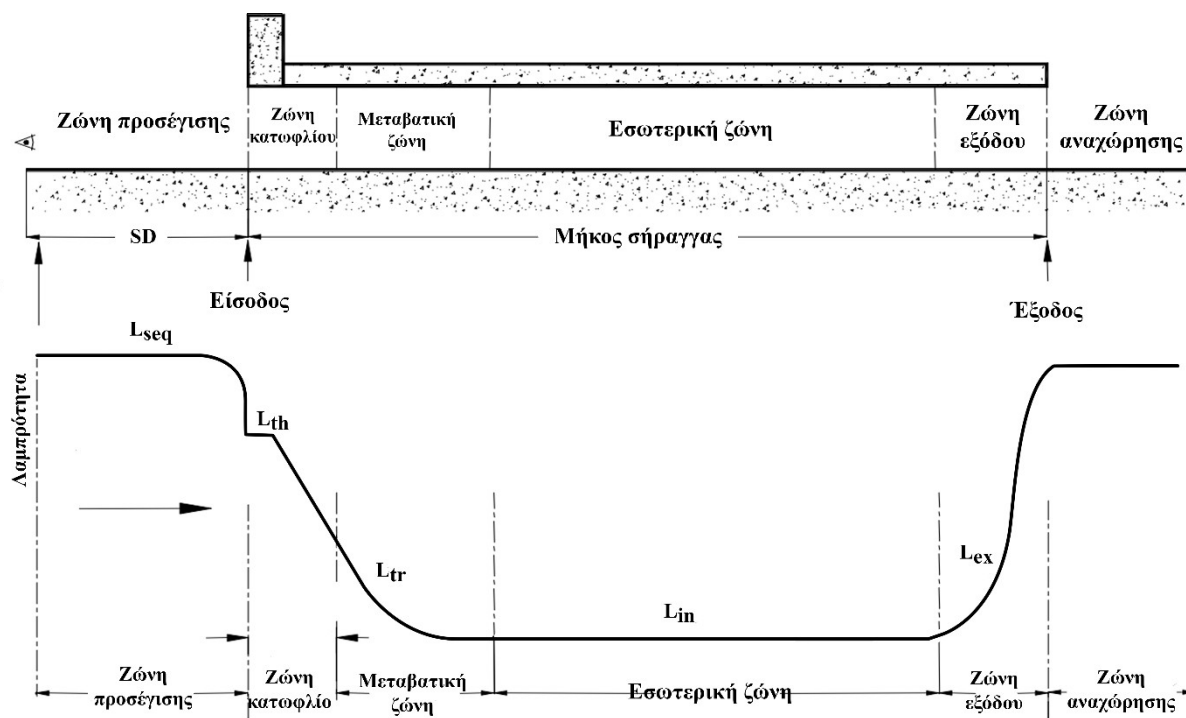
Εικόνα 16: Γραφικός υπολογισμός του συντελεστή τριβής f .

8.5 Απαιτήσεις ημερήσιου και νυκτερινού φωτισμού σήραγγων

Οι σήραγγες μεγάλου μήκος και εκείνες για τις οποίες απαιτείται ημερήσιος φωτισμός χωρίζονται στις ακόλουθες ζώνες φωτισμού:

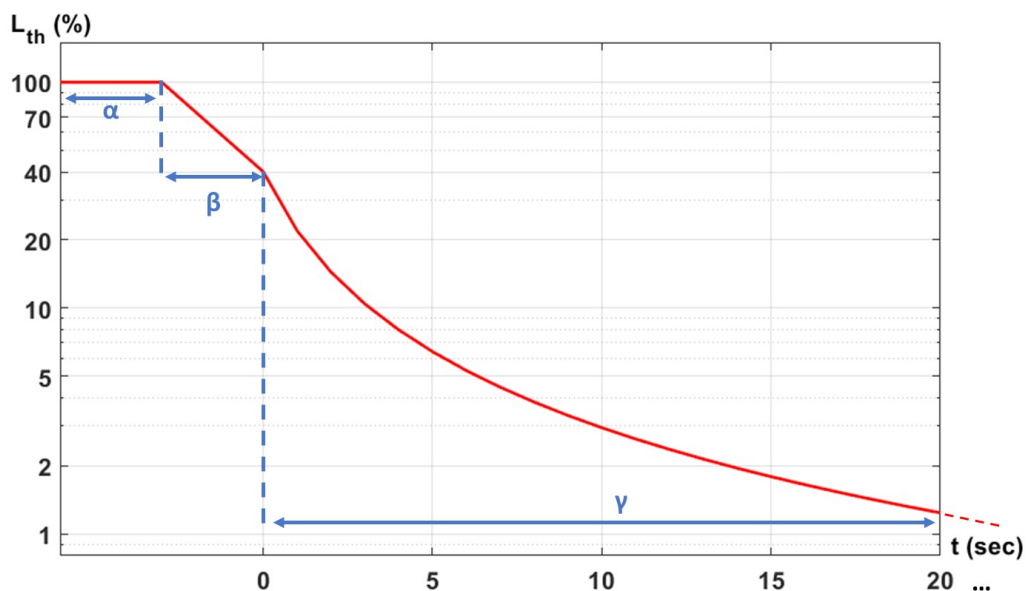
1. **Ζώνη προσέγγισης (access zone)**
Είναι το τμήμα της ανοικτής οδοποιίας προ της εισόδου της σήραγγας.
2. **Ζώνη κατωφλίου (threshold zone)**
Είναι η πρώτη ζώνη της σήραγγας. Ξεκινά από το στόμιο αυτής και τελειώνει σε μήκος ίσο με την απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης
3. **Μεταβατική ζώνη (transition zone)**
Ξενικά μετά την ζώνη κατωφλίου και τελειώνει πριν τη εσωτερική ζώνη
4. **Εσωτερική ζώνη (interior zone)**
Διατρέχει το μήκος της σήραγγας μεταξύ του τέλους της μεταβατικής ζώνης και της ζώνης εξόδου εφόσον υπάρχει ή του στομίου εξόδου της σήραγγας
5. **Ζώνη εξόδου (exit zone)**
Αποτελεί προαιρετική ζώνη φωτισμού και εφόσον υπάρχει ξεκινά μετά το τέλος της εσωτερικής ζώνης και τελειώνει στο στόμιο εξόδου της σήραγγας.
6. **Ζώνη αναχώρησης (parting zone)**
Αποτελεί το τμήμα της ανοικτής οδοποιίας μετά το πέρας της σήραγγας.

Η γραφική αναπαράσταση των ζωνών φωτισμού μίας σήραγγας φαίνονται στην Εικόνα 17. Στην ίδια εικόνα αποτυπώνεται και η τυπική διακύμανση της λαμπρότητας οδοστρώματος κατά μήκος της σήραγγας και σε κάθε ζώνη φωτισμού.



Εικόνα 17: Ζώνες φωτισμού σήραγγας και τυπική διακύμανση λαμπρότητας οδοστρώματος.

Οι απαιτήσεις φωτισμού της κάθε ζώνης καθορίζονται στις ενότητες που ακολουθούν. Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται η τυποποιημένη καμπύλη μεταβολής της λαμπρότητας κατά μήκος της σήραγγας για τις ζώνες φωτισμού στην κλίμακα του χρόνου.



Εικόνα 18: Τυποποιημένη μεταβολή της μέσης λαμπρότητας οδοστρώματος σήραγγας. α) σταθερό τμήμα ζώνης κατοφλίου, β) γραμμική μείωση λαμπρότητας ζώνης κατοφλίου, γ) μεταβατική ζώνη.

8.5.1 Ζώνη κατωφλίου

Η ζώνη κατωφλίου πρέπει να έχει μήκος τουλάχιστον ίσο με την απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης όπως αυτή υπολογίζεται από την Εξ.(15). Στο μισό της ζώνης κατωφλίου, η μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την λαμπρότητα κατωφλίου L_{th} (Εικόνα 18, τμήμα α) όπως υπολογίσθηκε από την Εξ.(14). Για το υπόλοιπο της ζώνης κατωφλίου, η λαμπρότητα πρέπει να μειώνεται γραμμικά στο 40% της L_{th} (Εικόνα 18, τμήμα β). Η μείωση αυτή μπορεί να γίνεται και βηματικά αρκεί η λαμπρότητα να μη πέσει κάτω από τις τιμές που αντιστοιχούν στην γραμμική μείωση.

Η απαιτούμενη μέση λαμπρότητα υπολογίζεται για ολόκληρο το πλάτος του οδοστρώματος (λωρίδες κυκλοφορίας και λωρίδα έκτακτης ανάγκης εφόσον υφίσταται).

8.5.2 Μεταβατική ζώνη

Η λαμπρότητα της μεταβατικής ζώνης L_{tr} μεταβάλλεται σύμφωνα με τη Εξ.(16).

$$L_{tr} = L_{th} \cdot (1.9 + t)^{-1.423} \quad \text{cd/m}^2 \quad (16)$$

Στην Εξ.(16), ο χρόνος t ξεκινά στο τέλος της ζώνης κατωφλίου ($t=0$). Η μορφή της καμπύλης μεταβολής της λαμπρότητας φαίνεται στην Εικόνα 18, τμήμα γ. Η Μεταβολή αυτή μπορεί να γίνεται και βηματικά αρκεί η λαμπρότητα να μην πέφτει κάτω από τις τιμές της νοητής αυτής καμπύλης. Στην περίπτωση αυτή τα βήματα λαμπρότητας δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 3:1. Παράλληλα, η μετάβαση από τη ζώνη κατωφλίου στη μεταβατική δεν θα πρέπει να έχει βήμα λαμπρότητας μεγαλύτερο του 1.5:1.

Το τέλος της εσωτερικής ζώνης ορίζεται το σημείο όπου η λαμπρότητα L_{tr} είναι 2 φορές η τιμή της λαμπρότητας της εσωτερικής ζώνης L_{in} .

Η απαιτούμενη μέση λαμπρότητα υπολογίζεται για το σύνολο των λωρίδων κυκλοφορίας (περιλαμβανομένης της λωρίδας έκτακτης ανάγκης εφόσον υφίσταται).

8.5.3 Εσωτερική ζώνη

Η λαμπρότητα της εσωτερικής ζώνης της σήραγγας L_{in} είναι σταθερή καθ' όλο το μήκος της ζώνης αυτής και επιλέγεται με βάση την κλάση της σήραγγας και την ταχύτητα σχεδιασμού σύμφωνα με τον Πίνακα 28.

Πίνακας 28: Τιμές λαμπρότητας εσωτερικής ζώνης L_{in}

Κλάση σήραγγας	Απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης (m)		
	60	100	160
4	3,0	6,0	10,0
3	2,0	4,0	6,0
2	1,5	2,0	4,0
1	0,5	0,5	1,5

Οι τιμές αυτές αφορούν τη λαμπρότητα της ζώνης κατά τη διάρκεια της ημέρας και υπολογίζονται για το συνολικό πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας εκτός της λωρίδας έκτακτης ανάγκης (εφόσον υφίσταται). Η λωρίδα έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να έχει μέση

λαμπρότητα τουλάχιστον ίση με τη μέση λαμπρότητα των λωρίδων κυκλοφορίας για σήραγγες κλάσης 4 ή τουλάχιστον ίση με το 50% της μέσης λαμπρότητας των λωρίδων κυκλοφορίας για σήραγγες κλάσης 3 και 2.

8.5.4 Ζώνη εξόδου

Η ζώνη εξόδου είναι προαιρετική αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν:

- Η γεωμετρία, η θέση και ο προσανατολισμός της σήραγγας σε συνδυασμό με το περιβάλλον στην έξοδο της σήραγγας αυξάνουν δυσανάλογα το επίπεδο της εξωτερικής λαμπρότητας με αποτέλεσμα τη θάμβωση του οδηγού
- Σε σήραγγες κλάσης 4 πολύ μεγάλου μήκους (>1000m).

Στην περίπτωση αυτή η λαμπρότητα της ζώνης εξόδου θα αυξάνεται γραμμικά πριν την έξοδο από την απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης από το επίπεδο της L_{in} σε επίπεδο $5 \cdot L_{in}$ στα 20m προ της εξόδου.

8.5.5 Ζώνη προσέγγισης και αναχώρησης και φωτισμός νύχτας της σήραγγας

Ο φωτισμός της σήραγγας κατά τη διάρκεια της νύχτας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με το φωτισμό του ανοιχτού δρόμου πριν και μετά τη σήραγγα. Επομένως, το επίπεδο φωτισμού ακολουθεί αυτό της ζώνης προσέγγισης και αναχώρησης της σήραγγας αλλά όχι μικρότερο της 1 cd/m^2 για τις σήραγγες κλάσης 2 και όχι μικρότερο της 1.5 cd/m^2 για τις σήραγγες κλάσης 3 και 4. Ο φωτισμός νύχτας αφορά τόσο τις μεγάλες σήραγγες και σκεπαστά (μήκους > 200m) όσο και τα μικρότερου μήκους σκεπαστά (άνω/κάτω διαβάσεων κλπ) τα οποία κείνται εντός οδοφωτιζόμενου τμήματος, ακόμα και αν δεν απαιτείται για αυτά ημερήσιος φωτισμός.

8.5.6 Ομοιομορφία λαμπρότητας

Η ολική και η διαμήκης ομοιομορφία της λαμπρότητας του οδοστρώματος της σήραγγας καθορίζονται ανάλογα με την κλάση αυτής σύμφωνα με τον Πίνακα 29. Οι απαιτήσεις σε ομοιομορφία (ολική και διαμήκη) δεν αφορούν τη μεταβατική ζώνη των σήραγγων.

Πίνακας 29: Ελάχιστες απαιτούμενες ομοιομορφίες λαμπρότητας οδοστρώματος.

Κλάση σήραγγας	Ολική ομοιομορφία U_o	Διαμήκης ομοιομορφία U_l
4	0,4	0,7
3	0,4	0,6
2	0,3	0,5
1	-	-

8.5.7 Φωτισμός τοιχωμάτων

Ο φωτισμός των τοιχωμάτων πρέπει να είναι επαρκής ώστε να συνεισφέρει στην οπτική αντίθεση κατά τον εντοπισμό πιθανών εμποδίων εντός της σήραγγας. Η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων υπολογίζεται για το αντίστοιχο σημείο της σήραγγας που υπολογίζεται και η μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος. Οι απαιτήσεις έχουν ως ακολούθως:

- Στις σήραγγες κλάσης 4, η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων σε ύψος έως τα 2m πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την μέση λαμπρότητα οδοστρώματος στο ίδιο σημείο
- Στις σήραγγες κλάσης 3 και 2, η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων σε ύψος έως τα 2m πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το 60% της μέσης λαμπρότητας οδοστρώματος στο ίδιο σημείο
- Στις σήραγγες κλάσης 1, δεν υπάρχει απαίτηση αλλά προτείνεται η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων σε ύψος έως τα 2m πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το 25% της μέσης λαμπρότητας οδοστρώματος στο ίδιο σημείο

8.5.8 Περιορισμός της φωτεινής πάλμωσης και της θάμβωσης

Η φωτεινή πάλμωση προκαλείται από την συχνή εναλλαγή μεταξύ φωτεινού και σκοτεινού υπόβαθρου. Στις σήραγγες αυτό απαντάται από τη διαδοχή των φωτιστικών σωμάτων. Για το σκοπό αυτό, τα φωτιστικά σώματα θα πρέπει να είναι τοποθετημένα σε τέτοια απόσταση ώστε ανάλογα με την ταχύτητα διέλευσης η φωτεινή πάλμωση να είναι μικρότερη των 2,5Hz ή μεγαλύτερη των 15Hz.

Η θάμβωση υπολογίζεται μέσω του δείκτη TI (Threshold Increment). Η τιμή του TI θα πρέπει να είναι σε κάθε περίπτωση <15. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί όταν χρησιμοποιούνται φωτιστικά σώματα LED όπου ο υπολογισμός του TI απαιτεί μεγάλη ακρίβεια στα φωτομετρικά αρχεία των φωτιστικών σωμάτων.

9. Προδιαγραφές εξοπλισμού φωτισμού σηράγγων

9.1 Ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές φωτιστικών σωμάτων φωτισμού σηράγγων

Τα φωτιστικά σώματα τύπου σηράγγων πρέπει να έχουν τα ακόλουθα ελάχιστα τεχνικά χαρακτηριστικά και πιστοποιήσεις. Σημειώνεται πως η εκάστοτε αναθέτουσα αρχή έχει τη δυνατότητα να απαιτεί επιπρόσθετες προδιαγραφές από τις κάτωθι καθώς και να ενσωματώνει τις προδιαγραφές των εκάστοτε ισχυουσών ΕΤΕΠ.

Τα φωτιστικά σώματα θα είναι τυποποιημένης κατασκευής, με κέλυφος ειδικά προστατευμένο για εγκαταστάσεις σηράγγων. Θα είναι σχεδιασμένα εξ' αρχής για αποκλειστική χρήση σε σήραγγες και δεν επιτρέπονται φωτιστικά που προέρχονται από μετατροπή προβολέων ή φωτιστικών άλλων χρήσεων.

9.1.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φωτιστικού σώματος

Το σώμα του φωτιστικού πρέπει να είναι κατασκευασμένο από κατάλληλο υλικό για τις εκάστοτε συνθήκες και απαιτήσεις λειτουργίας κατά την κρίση της αναθέτουσας αρχής. Στις περιπτώσεις όπου ο εξοπλισμός φωτισμού βρίσκεται κοντά σε παραθαλάσσιο περιβάλλον τότε πρέπει να αντέχει στο παραθαλάσσιο περιβάλλον. Η κατασκευή του σώματος του φωτιστικού θα διασφαλίζει την ικανότητα απαγωγής της παραγόμενης θερμότητας τόσο για το τμήμα της οπτικής πηγής όσο και για το τμήμα των ηλεκτρικών μερών. Το φωτιστικό σώμα φέρει και εξαρτήματα προσαρμογής και προστασίας κατάλληλα για τις εγκαταστάσεις εντός της σήραγγας σύμφωνα με την εκάστοτε ανάγκη.

Στις περιπτώσεις φωτιστικών σωμάτων όπου τα ηλεκτρικά όργανα βρίσκονται σε ξεχωριστό κέλυφος από την οπτική μονάδα, τότε αυτά θα πρέπει να είναι ασφαλισμένα σε κατάλληλο πλαίσιο για την ομαλή λειτουργία τους και να συνοδεύονται από τις κατάλληλες καλωδιώσεις προς την οπτική μονάδα.

9.1.2 Προστατευτικό κάλυμμα

Το προστατευτικό κάλυμμα έχει ως σκοπό την προστασία της οπτικής μονάδας από το εξωτερικό περιβάλλον. Το προστατευτικό κάλυμμα πρέπει να είναι κατασκευασμένο από θερμικά επεξεργασμένη ύαλο (tempered glass) το οποίο προστατεύει συνολικά την φωτεινή πηγή και τους φακούς διάχυσης του φωτός ή ανακλαστήρες. Το κάλυμμα μπορεί να είναι καθαρό διαυγές ή ημιδιαφανές (τύπου Frosted).

9.1.3 Υλικά οπτικής μονάδας

Η διάχυση επιτυγχάνεται από φακούς ή ανακλαστήρες αλουμίνιου. Οι φακοί μπορούν να είναι κατασκευασμένοι από υλικό PMMA ή σιλικόνη ή άλλο ισοδύναμο υλικό αντοχής στην θερμοκρασία. Οι ανακλαστήρες πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από ανοδιωμένο αλουμίνιο ή άλλου υλικού υψηλότερης ανακλαστικότητας.

9.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

9.2.1 Φωτομετρικά δεδομένα

Τα φωτομετρικά δεδομένα εκδίδονται σε θερμοκρασία Ta 25°C. Τα φωτομετρικά δεδομένα προκύπτουν σύμφωνα με το EN13032 ή το IES LM 79 (οι νεότερες εκδόσεις αυτών).

Η ισχύς και η φωτεινή ροή των φωτιστικών επιλέγονται βάσει των αναγκών φωτισμού της εκάστοτε εφαρμογής. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση χρήσης φωτιστικών τεχνολογίας LED, η ονομαστική θερμοκρασία χρώματος (CCT) δεν πρέπει να ξεπερνά τους 4000K. Ο συνδυασμός CCT & CRI πρέπει να εκφράζεται σε χρωματικούς κωδικούς κατά IEC 62717 π.χ. 740 (CRI 70, 4000K), 730 (CRI 70, 3000K) κ.λπ.

Η κατανομή της φωτεινής έντασης του φωτιστικού σώματος επιλέγεται από τον μελετητή σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις.

9.2.2 Ηλεκτρικά μεγέθη

Το φωτιστικό σώμα πρέπει να διαθέτει τα κάτωθι ελάχιστα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

- Λειτουργία σε δίκτυο με ονομαστική τάση λειτουργίας 230V AC 50Hz και ανοχή σε διακύμανση επί της ονομαστικής τιμής λειτουργίας τουλάχιστον 220-240V.
- Προστασία από υπερτάσεις τουλάχιστον 10kV (σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 61000-4-5, κατηγορία δοκιμής X)
- Κλάση προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας I ή II, (σύμφωνα με το πρότυπο EN 60598-1)
- Συντελεστής ισχύος τουλάχιστον 0.9 σε λειτουργία πλήρους φορτίου του φωτιστικού. Στις περιπτώσεις που το φωτιστικό λειτουργεί και υπό συνθήκες dimming, τότε ο μελετητής πρέπει να διασφαλίζει πως ο συντελεστής ισχύος θα διατηρείται κατά το δυνατόν υψηλότερος και όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ανωτέρω τιμή.

- Έλεγχος φωτεινής πάλμωσης (PstLM, SVM σύμφωνα με τα πρότυπα IEC TR 61547-1:2020 και IEC TR 63158:2018

9.2.3 Βαθμοί προστασίας από εξωτερικές επιδράσεις

Το φωτιστικό σώμα πρέπει να διαθέτει προστασία έναντι εισχώρησης νερού και σκόνης τουλάχιστον IP66 και προστασία έναντι κρούσεων τουλάχιστον IK08.

Το φωτιστικό σώμα πρέπει να είναι κατάλληλο για λειτουργία σε περιβάλλον από -20°C έως και +30°C. Δεδομένης της κρισιμότητας της υψηλής θερμοκρασίας στην λειτουργικότητα των φωτιστικών, το άνω όριο θερμοκρασίας ελέγχεται κατά το EN/IEC 60598. Συγκεκριμένα, κάθε φωτιστικό σώμα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε θερμοκρασία έως και Ta 30°C ή μεγαλύτερης, αναλόγως των συνθηκών εξωτερικού περιβάλλοντος

9.2.4 Συνδεσιμότητα

Τα φωτιστικά σώματα τεχνολογίας LED πρέπει να μπορούν να δεχθούν εντολές απομείωσης της φωτεινής τους ροής. Για αυτό το σκοπό τα τροφοδοτικά τους, πρέπει να μπορούν να δεχθούν τις κατάλληλες εντολές μέσω DALI ή 1-10V (0-10V) ή PWM ή άλλου τύπου ανάλογα με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Όλες οι εσωτερικές συνδέσεις του φωτιστικού πρέπει να είναι υλοποιημένες κατά την παραγωγή αυτού και η μελλοντική τοποθέτηση ελεγκτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή.

9.2.5 Διατήρηση φωτεινής ροής

Η διατήρηση της φωτεινής ροής των πηγών LED εκφράζεται μέσω του IES LM-80 & της τεχνικής έκθεσης IES TM-21. Τα φωτιστικά σώματα πρέπει να φέρουν πηγές LED οι οποίες θα διαθέτουν τουλάχιστον τιμή L80 υπολογιζόμενη (Calculated) στις 50000 ώρες σε θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος τουλάχιστον 25°C. Ως τεκμήριο για αυτή την δήλωση χρησιμοποιείται η LM 80 αναφορά, στην οποία πρέπει να υπάρχει ένα ή περισσότερα αντιπροσωπευτικά σύνολα δεδομένων (datasets) της λειτουργίας του φωτιστικού σώματος, δηλαδή συνδυασμοί ρεύματος οδήγησης (If- mA) και θερμοκρασίας Ts (ή Tsp).

Σημειώνεται πως στην περίπτωση που ζητείται δήλωση διατήρησης φωτεινής ροής, με συντελεστή Byy διαφορετικό του B50, τότε για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται και το πρότυπο IEC 62717.

9.2.6 Πιστοποιήσεις

Τα φωτιστικά σώμα πρέπει να διαθέτουν κατ' ελάχιστον τις ακόλουθες πιστοποιήσεις.

1. Δήλωση συμμόρφωσης του κατασκευαστή κατά CE. Η δήλωση περιλαμβάνει συμμόρφωση με τις οδηγίες και τα αντίστοιχα πρότυπα εναρμόνισης αυτών όπως ισχύουν κατά περίπτωση.
 - a. Low Voltage Directive (LVD) 2014/35/EU
 - b. Electromagnetic Compatibility Directive (EMC) 2014/30/EU
 - c. Eco Design Directive 2009/125/EC

- d. Κανονισμός (ΕΕ) 2017/1369 όπως συμπληρώθηκε από τον Κανονισμό (ΕΕ) 2019/2015
 - e. ATEX 2014/34/ΕΚ για προϊόντα που προορίζονται για χρήση σε εκρήξιμες ατμόσφαιρες, όπου απαιτείται & εάν προβλέπεται από τη μελέτη να δημιουργούνται τέτοιες συνθήκες στα μέρη που θα τοποθετηθούν τα προϊόντα
 - f. Rohs Directive 2011/65/EU
2. Ο κατασκευαστής των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να διαθέτει ενεργό σύστημα διαχείρισης ποιότητας ISO 9001:2015 και περιβαλλοντικής διαχείρισης ISO 14001:2015. Στην πιστοποίηση θα πρέπει να περιλαμβάνεται η κατασκευή και εμπορία προϊόντων φωτισμού.
 3. Πιστοποιητικό τύπου ENEC ή άλλου ισοδύναμου σχήματος ISO Type 5, το οποίο καλύπτει τις απαιτήσεις των προτύπων χαμηλής τάσης (EN 60598-1, EN 60598 2-3)
 4. Προαιρετικό - Πιστοποιητικό τύπου ENEC+ ή άλλου ισοδύναμου σχήματος ISO Type 5, το οποίο αφορά σε εφαρμογή του EPRS 003 (εφαρμογή του προτύπου EN/IEC 62722-2-1).
 5. Τα φωτομετρικά δεδομένα προέρχονται από διαπιστευμένο με ISO 17025 εργαστήριο από φορέα EA-MLA ή IAF / ILAC. Η εκάστοτε Αναθέτουσα Αρχή μπορεί να απαιτεί επίσης εκτός από διαπιστευμένο εργαστήριο το εργαστήριο των φωτομετρικών δεδομένων να είναι εναλλακτικά αναγνωρισμένο (Approved / Recognized κ.ο.κ) από διαπιστευμένο φορέα κατά ISO 17025. Στην περίπτωση αυτή θα υποβάλλεται δήλωση του εργαστηρίου ότι τα φωτομετρικά δεδομένα προέρχονται από το ίδιο. Τεκμήριο της προέλευσης των φωτομετρικών δεδομένων μπορεί να είναι δήλωση του εργαστηρίου που την εξέδωσε ή του εργαστηρίου του κατασκευαστή εάν διαθέτει αυτό.
 6. Σημειώνεται πως δίδεται στον μελετητή η δυνατότητα απαίτησης το φωτομετρικό εργαστήριο να είναι διαπιστευμένο από φορέα EA-MLA (και όχι γενικά από IAF / ILAC), δεδομένου πως στην συγκεκριμένη ομάδα φορέων διαπίστευσης ανήκουν μόνο οι ευρωπαϊκοί φορείς
 7. Τα δεδομένα της διατήρησης φωτεινής ροής κατά το πρότυπο LM-80 να προέρχονται από διαπιστευμένο εργαστήριο κατά ISO 17025 από φορέα EA-MLA ή IAF / ILAC.

Τέλος είναι απαραίτητο να προσκομίζεται επιπρόσθετο ενημερωτικό υλικό, φωτογραφίες, εγχειρίδια εγκατάστασης και λοιπό τεχνικό υλικό που αποδεικνύουν υποστηρίζουν την συμμόρφωση με τις προδιαγραφές.

10. Πρόσθετες απαιτήσεις φωτισμού σήραγγων

10.1 Φωτισμός εσοχών στάθμευσης έκτακτης ανάγκης (Lay-by)

Στις περιπτώσεις που οι σήραγγες διαθέτουν εσοχές στάθμευσης έκτακτης ανάγκης, ο φωτισμός αυτών πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις της κλάσης P1 σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN13201-2. Οι εσοχές αυτές δύναται να φέρουν ξεχωριστό σύστημα φωτισμού το οποίο και θα πρέπει να λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Προτείνεται η χρήση φωτιστικών σωμάτων υψηλότερης θερμοκρασίας χρώματος για τον ευκολότερο εντοπισμό της περιοχής, εφόσον αυτός δεν υποβοηθάται από άλλα μέσα (βαφή, σήμανση κλπ).

10.2 Φωτισμός ασφαλείας

Στο σύστημα φωτισμού των σήραγγων πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για τη διατήρηση ενός ελάχιστου επιπέδου φωτισμού σε περιπτώσεις ανάγκης, όπως π.χ. κατά την αστοχία του συστήματος παροχής ισχύος. Η διατήρηση του ελάχιστου επιπέδου ασφαλείας μπορεί να επιτυγχάνεται με τη χρήση φωτιστικών σωμάτων τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σύστημα αδιάλειπτης παροχής ισχύος. Επίσης, για τον ίδιο σκοπό, δύναται να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ανάγκης μέρος της φωτεινής ροής συγκεκριμένων φωτιστικών σωμάτων π.χ. ένας εκ των λαμπτήρων σε φωτιστικά με περισσότερους του ενός λαμπτήρων, μεμονωμένες μονάδες LED σε φωτιστικά σώματα που το υποστηρίζουν κ.λπ.

Σε κάθε περίπτωση, το σύστημα φωτισμού πρέπει σε καταστάσεις ανάγκης να επιτυγχάνει μέση ένταση φωτισμού 10 lx με ελάχιστη τιμή τα 2 lx σε οποιοδήποτε σημείο της σήραγγας συμπεριλαμβανομένου του οδοστρώματος και των πεζοδρομίων εφ' όσον υφίστανται. Η απαίτηση αυτή δεν ισχύει για το φωτισμό των τοιχωμάτων.

Για περιπτώσεις διακοπής της ηλεκτροδότησης και μέχρι να τεθεί σε λειτουργία το Εφεδρικό Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, το σύστημα Αδιάλειπτης Παροχής Ισχύος (UPS) θα τροφοδοτεί, εκτός των άλλων, το σύστημα φωτισμού ανάγκης σήραγγας (όλος ο νυκτερινός φωτισμός) και τα σήματα φωτεινής σήμανσης (σήμανση οδών και εξόδων διαφυγής κλπ). Στην συνέχεια το Εφεδρικό Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος θα τροφοδοτεί, επιπλέον, μέρος του συστήματος της σήραγγας. Το σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας, μέσω των πινακίδων ελέγχου της κυκλοφορίας, πριν και μέσα στην σήραγγα, θα προσδιορίζει την νέα ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων πριν και μέσα από αυτήν. Το όριο αυτό, θα υπολογίζεται και θα πρέπει να αντιστοιχεί στο επίπεδο φωτισμού των ζωνών κατωφλίου και προσαρμογής, το οποίο προκύπτει από τον προκαθορισμένο αριθμό φωτιστικών σωμάτων τα οποία ηλεκτροδοτούνται από το ΕΗΖ στις ζώνες αυτές.

10.3 Φωτισμός εκκένωσης

Σε περίπτωση πυρκαγιάς, το επίπεδο φωτισμού της σήραγγας μειώνεται λόγω του καπνού, με αποτέλεσμα οι οδεύσεις και οι εξοδοί διαφυγής να μην είναι πάντοτε επαρκώς ορατές. Ως εκ τούτου, κάθε κλάδος της σήραγγας πρέπει να διαθέτει φωτιστικά τα οποία θα υποδεικνύουν τις οδεύσεις και θα προσανατολίζουν προς τις εξόδους διαφυγής. Οι εξοδοί διαφυγής πρέπει να επισημαίνονται με πινακίδες και να φωτίζονται ιδιαιτέρως. Ο εν λόγω φωτισμός προσανατολισμού και υποβοήθησης της εκκένωσης απαιτείται για όλες τις σήραγγες μήκους ≥ 500 m .

α. Φωτεινές πινακίδες πληροφόρησης των πλησιέστερων εξόδων διαφυγής

Οι πινακίδες αυτές πρέπει να τοποθετούνται στη πλευρά της σήραγγας που βρίσκονται οι εξοδοί διαφυγής, χωνευτά στο τοίχωμα αυτής, ανά διαστήματα $\leq 25\text{m}$ και εις τρόπον ώστε να καταδεικνύουν φωτεινά την όδευση και να παρέχουν προσανατολισμό. Θα είναι μόνιμα εσωτερικά φωτιζόμενες και θα περιλαμβάνουν πικτόγραμμα με ένα σύμβολο διαφυγής (εικονίδιο «τρέχοντος ανθρώπου» με προσανατολισμό προς την πλησιέστερη έξοδο διαφυγής), σε συνδυασμό με βέλη ανά κατεύθυνση διαφυγής και με αναφορά άνωθεν ή κάτωθεν αυτών της απόστασης από την πλησιέστερη έξοδο διαφυγής ή την κοντινότερη έξοδο της σήραγγας. Για την ταχεία κατανόηση των ανωτέρω πληροφοριών απόστασης, οι αριθμοί στρογγυλοποιούνται στην κοντινότερη δεκάδα (10m). Το πικτόγραμμα των εν λόγω πινακίδων θα είναι πρασίνου και λευκού χρώματος (χρώμα συμβόλων λευκό σε πράσινο φόντο).

Προκειμένου να καθίσταται δυνατή η πλευρική αντίληψη των ανωτέρω φωτεινών πινακίδων, θα πρέπει να εξέχουν 2 έως 3 cm από το τοίχωμα της σήραγγας, κατά μέγιστο 6 cm. Θα έχουν πλευρικό φωτισμό καθοδήγησης, με την μορφή κατακόρυφης λωρίδας πρασίνου χρώματος ελαχίστων διαστάσεων (ΠxΥ) 20mm x 300mm, τεχνολογίας led. Επίσης, θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες κατά τρόπον ώστε να μην προκαλούν τραυματισμό των διαφυγόντων χρηστών. Εάν η κατασκευή της σήραγγας δεν επιτρέπει την ανωτέρω χωνευτή τοποθέτηση της εν λόγω φωτεινής σήμανσης, εναλλακτικά θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν επίπεδες, μικρού βάθους, επίτοιχες φωτεινές πινακίδες.

Οι φωτεινές πινακίδες πληροφόρησης των πλησιέστερων εξόδων διαφυγής πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Διαστάσεις πικτογράμματος κατ' ελάχιστον από 300 mm x 300 mm.
- Μέση λαμπρότητα πικτογράμματος τουλάχιστον 200 cd/m^2
- Πλευρικές επιφάνειες πράσινου χρώματος, μέση λαμπρότητα τουλάχιστον 75 cd/m^2
- Κατηγορία προστασίας / στεγανότητας φωτεινών πινακίδων: IP 65 και IK 08
- Κλάση προστασίας: I
- Ύψος εγκατάστασης: Το κάτω άκρο της φωτεινής πινακίδας να βρίσκεται σε ύψος 1.00 έως 1.20 m πάνω από το επίπεδο του διαδρόμου διαφυγής
- Τροφοδοσία ρεύματος: Η εν λόγω φωτεινή σήμανση θα πρέπει να τροφοδοτείται από παροχή UPS. Η κατανομή των γραμμών διανομής στις φωτεινές πινακίδες θα πρέπει να καθορίζεται από τη μελέτη ανάλυσης κινδύνου (risk assessment) της σήραγγας. Σε κάθε περίπτωση διαδοχικά φωτιστικά θα τροφοδοτούνται από διαφορετική φάση (R,S,T).

Οι εν λόγω φωτεινές πινακίδες, στο κάτω μέρος τους, θα έχουν ενσωματωμένο (δύνανται να ευρίσκεται και εκτός αυτής) φωτιστικό λευκού χρώματος για τον φωτισμό (προς τα κάτω) της όδευσης διαφυγής κατά μήκος του πεζοδρομίου και τροφοδοτούμενο από παροχή UPS. Το εν λόγω θα ενεργοποιείται μόνο σε περίπτωση πυρκαγιάς ή άλλου εκτάκτου περιστατικού, αυτόματα μέσω του συστήματος πυρανίχνευσης ή χειροκίνητα από το κέντρο επιτήρησης της σήραγγας. Το φωτιστικό θα είναι τεχνολογίας LED, I(α) τουλάχιστον 25 cd, όπου η γωνία α θα είναι εντός του διαστήματος: $-87^\circ < \alpha < +87^\circ$ σε οριζόντιο επίπεδο και $-60^\circ < \alpha < +20^\circ$ σε κατακόρυφο επίπεδο. Θα πρέπει να αποφεύγεται η επικάλυψη της φωτεινής σήμανσης για την πληροφόρηση της πλησιέστερης όδευσης διαφυγής μέσω της μείωσης της θάμβωσης του εν λόγω φωτιστικού που βρίσκεται στο κάτω μέρος αυτής. Στην περίπτωση τοποθέτησης μεμονωμένου φωτιστικού εκτός της πινακίδας, τα χαρακτηριστικά του θα είναι ίδια όπως του ενσωματωμένου σε αυτήν.

β. Πινακίδες επισήμανσης των εξόδων διαφυγής

Οι έξοδοι διαφυγής πρέπει να καταδεικνύονται ιδιαιτέρως, μέσω μίας εσωτερικά μόνιμα φωτιζόμενης διπλής όψεως πινακίδας, τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση κυκλοφορίας, τροφοδοτούμενη από παροχή UPS. Ένας πρασίνου χρώματος αναλάμπων φανός τοποθετείται πάνω από τις φωτεινές πινακίδες, ο οποίος θα ηλεκτροδοτείται επίσης από παροχή UPS και θα ενεργοποιείται μόνο σε περίπτωση πυρκαγιάς ή άλλου εκτάκτου περιστατικού, αυτόματα μέσω του συστήματος πυρανίχνευσης ή χειροκίνητα από το κέντρο επιτήρησης της σήραγγας,. Τα εν λόγω φωτιστικά των εξόδων διαφυγής θα είναι κατηγορία προστασίας IP 65, IK 08 και κλάση προστασίας: I.

γ. Φωτισμός επισήμανσης των εξόδων διαφυγής

Οι έξοδοι διαφυγής καταδεικνύονται επίσης, από ταινία led τοποθετημένη περιμετρικά αυτών, τροφοδοτούμενη από παροχή UPS και μονίμως αναμμένης, ώστε να επισημαίνουν τη θέση τους. Μπορούν να εγκαθίστανται και εκατέρωθεν της εξόδου διαφυγής έχοντας τη μορφή φωτεινών στηλών ύψους 2,5m. περίπου. Εναλλακτικά της ενιαίας κατασκευής, το επιθυμητό οπτικό αποτέλεσμα δύναται να επιτευχθεί με την εγκατάσταση επαρκούς αριθμού (3-5) αμφίπλευρων φωτεινών δεικτών κατακόρυφα διατεταγμένων εκατέρωθεν της εξόδου. Ο φωτισμός είναι πράσινου χρώματος, τεχνολογίας LED και ελεγχόμενος από το σύστημα αυτοματισμού προκειμένου να εμφανίζει λαμπρότητα 30cd/m^2 σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας της σήραγγας και 100cd/m^2 σε περίπτωση συναγερμού εκκένωσης.

Τα φωτιστικά θα είναι σχεδιασμένα ώστε να παρέχουν επαρκή φωτισμό στον εγκάρσιο άξονα, καθιστώντας ευχερή τον εντοπισμό και την αναγνώριση της εξόδου κινδύνου από τους κινούμενους εντός της σήραγγας χρήστες. Θα διαθέτουν προστασία IP65, IK 08 και σχεδιασμό τέτοιο ώστε να μη συντρέχει κίνδυνος τραυματισμού των διερχόμενων πεζών (κεκλιμένες πλευρές).

10.4. Βαφή τοιχωμάτων, ασφάλτου και στομίου σηράγγων

Για την ενίσχυση της λαμπρότητας των τοιχωμάτων και τη μείωση της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος του συστήματος φωτισμού, τα τοιχώματα της σήραγγας προτείνεται να βάφονται με χρώμα ανοικτό γκρι συνολικής ανακλαστικότητας $\geq 50\%$ σε ύψος τουλάχιστον 3 m.

Παράλληλα, δύναται η δυνατότητα διερεύνησης της χρήσης ανοιχτόχρωμης επίστρωσης της ασφάλτου για την αύξηση της λαμπρότητας οδοστρώματος. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η γνώση των ανακλαστικών ιδιοτήτων της επικάλυψης ενώ θα πρέπει να διασφαλίζονται όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά φωτισμού (ομοιομορφίες, λόγος λαμπρότητας τοιχωμάτων/ασφάλτου).

Για τη μείωση της λαμπρότητας του στομίου, και κατ' επέκταση τη μείωση της απαιτούμενης λαμπρότητας εντός της σήραγγας κατά την ημέρα, προτείνεται η βαφή των δομικών στοιχείων του στομίου με σκουρόχρωμη βαφή. Στη μείωση της λαμπρότητας του στομίου συνεισφέρει παραλλήλως και η φύτευση του περιβάλλοντος χώρου με φυτά ή με τη χρησιμοποίηση σκουρόχρωμων υλικών. Σε κάθε περίπτωση οι παρεμβάσεις στο στόμιο των σηράγγων πρέπει να μειώνουν τη συνολική λαμπρότητα L20 του οπτικού πεδίου του τυπικού οδηγού.

11. Εκπόνηση μελετών φωτισμού σήραγγων

11.1 Γενικές απαιτήσεις

Η μελέτη φωτισμού μίας σήραγγας έχει ως στόχο την κάλυψη των αναγκών φωτισμού της σήραγγας κατά το μήκος αυτής και κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύκτας. Το σύστημα φωτισμού πρέπει να επιτυγχάνει τα κατάλληλα επίπεδα λαμπρότητας οδοστρώματος κατά το μήκος της σήραγγας όπως αυτά υπολογίζονται από το διάγραμμα της Εικόνας 18 (§8.5). Παράλληλα πρέπει να πληρούνται οι απαιτήσεις φωτισμού για τα τοιχώματα καθώς και οι εκάστοτε απαιτούμενες ομοιομορφίες. Οι μελέτες φωτισμού σήραγγων πρέπει να εκπονούνται με ειδικά λογισμικά κατάλληλα για μελέτες φωτισμού σήραγγων. Τα λογισμικά πρέπει να ενσωματώνουν τις μεθοδολογίες υπολογισμών σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα όπως π.χ. η Τεχνική Αναφορά (Technical Report) CIE 189. Η μελέτη φωτισμού πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τα πραγματικά γεωμετρικά δεδομένα της σήραγγας όπως επίσης και τον προσδιορισμό των λοιπών δεδομένων σχετικά με τη θέση και τη λειτουργία της σήραγγας

11.2 Συντελεστής συντήρησης

Ο συντελεστής συντήρησης ενός συστήματος φωτισμού σήραγγων υπολογίζεται όπως και στις περιπτώσεις του οδοφωτισμού και περιγράφεται στην §3.2. Στις περιπτώσεις των σήραγγων, η συν τω χρόνω απομείωση των ανακλαστικών ιδιοτήτων των τοιχωμάτων αυτών, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς μέσω των εξειδικευμένων λογισμικών των μελετών φωτισμού αυτών, σε συνάρτηση και με το προβλεπόμενο από τα εγχειρίδια συντήρησης πρόγραμμα καθαρισμού των τοιχωμάτων του εκάστοτε οδικού έργου.

11.3 Χωροθέτηση φωτιστικών σωμάτων εντός της σήραγγας

Οι θέσεις των φωτιστικών σωμάτων προκύπτουν σε συνάρτηση με τα αποτελέσματα των μελετών φωτισμού μιας σήραγγας. Οι θέσεις φωτισμού πρέπει να διασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία των φωτιστικών σωμάτων και να πληρούν τις προδιαγραφές ασφαλείας των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων. Οι συνήθειες διατάξεις των φωτιστικών σωμάτων είναι οι ακόλουθες:

1. Τοποθέτηση στην οροφή, σε ειδικές βάσεις, στο κέντρο ή πλησίον του κέντρου της σήραγγας δίπλα στις ράγες των ηλεκτρικών καλωδίων, σε τόση απόσταση από το κέντρο ώστε να διευκολύνεται η συντήρηση. Η διάταξη αυτή μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες σειρές φωτιστικών σωμάτων αναλόγως του πλάτους της σήραγγας ή και των φωτομετρικών απαιτήσεων. Για σήραγγες με 3 ή περισσότερες λωρίδες, τα φωτιστικά κατανέμονται σε θέσεις που διασφαλίζουν τη βέλτιστη αξιοποίηση της φωτεινής εκπομπής των φωτιστικών.
2. Τοποθέτηση στα τοιχώματα της σήραγγας σε κατάλληλο ύψος που υποδεικνύεται από τις εκάστοτε προδιαγραφές ασφαλείας και τις μελέτες φωτισμού.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να διασφαλίζονται τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού στα τοιχώματα και στο οδόστρωμα της σήραγγας.

Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων υπολογίζεται κατά τη μελέτη φωτισμού και μπορεί να είναι είτε μεταβλητή κατά μήκος της σήραγγας είτε σταθερή ανά ομάδα συγκεκριμένου αριθμού φωτιστικών σωμάτων. Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται η

ομαλή μεταβολή της λαμπρότητας κατά μήκος της σήραγγας ενώ στη δεύτερη περίπτωση επιτυγχάνεται η επίτευξη των επιπέδων λαμπρότητας σε διακριτά βήματα. Οποιαδήποτε μέθοδος και αν ακολουθηθεί θα πρέπει να πληρούνται τα επίπεδα λαμπρότητας που καθορίζονται από το διάγραμμα της Εικόνας 18 (§8.5).

11.4 Κυκλώματα φωτισμού και προσαρμοστικός φωτισμός

Οι ανάγκες φωτισμού μιας σήραγγας διαφοροποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η λαμπρότητα της ζώνης προσέγγισης μεταβάλλεται και βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με τη λαμπρότητα του ουρανού, τη λαμπρότητα του περιβάλλοντος του στομίου ή τις καιρικές συνθήκες. Συνεπεία αυτών μεταβάλλεται η λαμπρότητα L20 και ως εκ τούτου η απαιτούμενη λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου Lth. Προκύπτει επομένως σαφής ανάγκη αυτόματης προσαρμογής του φωτισμού της ζώνης κατωφλίου και της μεταβατικής ζώνης συναρτήσει της εξωτερικής λαμπρότητας. Για το σκοπό αυτό, τα φωτιστικά σώματα που καλύπτουν το φωτισμό των ζωνών κατωφλίου, μετάβασης, εσωτερική και εξόδου (εφ' όσον υφίσταται) θα πρέπει να ρυθμίζονται αναλόγως ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού.

Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού σηράγγων πρέπει να χειρίζονται τα φωτιστικά σώματα μέσω μίας εκ των ακόλουθων μεθόδων:

1. Ομαδοποίηση των φωτιστικών σωμάτων και έναυση/σβέση (ON/OFF)

Η περίπτωση αυτή συναντάται ως επί το πλείστον στις υφιστάμενες εγκαταστάσεις, δεδομένης και της κυριαρχίας συμβατικών πηγών φωτισμού πριν την εμφάνιση των φωτιστικών LED και των πρόσθετων δυνατοτήτων ρύθμισής τους. Με τη μέθοδο αυτή τα φωτιστικά χωρίζονται σε κυκλωματικές ομάδες, μία ή περισσότερες ανά βαθμίδα φωτισμού. Μέσω των κυκλωμάτων αυτών οργανώνεται η έναυση και σβέση των κυκλωμάτων και επιτυγχάνονται τα διάφορα διακριτά επίπεδα φωτισμού εντός της σήραγγας. Η μέθοδος ON/OFF μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιαδήποτε τεχνολογία φωτιστικών σωμάτων. Ο αριθμός κυκλωμάτων ελέγχου και επομένως των αντίστοιχων επιπέδων φωτισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 χωρίς να προσμετράται το επίπεδο φωτισμού νύχτας π.χ. 100%, 80%, 60%, 40% και 20% της λαμπρότητας Lth συν το επίπεδο φωτισμού νύχτας.

2. Ομαδοποίηση φωτιστικών σωμάτων και ρύθμιση της φωτεινής ροής σε δύο επίπεδα και έναυση/σβέση.

Η μέθοδος αυτή είναι όμοια με την 1^η αλλά συνδυάζεται με τη δυνατότητα χρήσης διατάξεων έναυσης/τροφοδοσίας των φωτιστικών σωμάτων δύο βημάτων (bi-power). Στην περίπτωση αυτή η φωτεινή ροή των φωτιστικών σωμάτων μπορεί να ρυθμισθεί σε δύο διακριτά επίπεδα π.χ. 100% και 50% της ονομαστικής φωτεινής ροής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται τα διπλάσια επίπεδα φωτισμού σε σχέση με τη 1^η μέθοδο ή μπορεί αντίστοιχα να μειωθεί ο απαιτούμενος αριθμός κυκλωμάτων στο μισό ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται ο ίδιος αριθμός επιπέδων φωτισμού. Για παράδειγμα, στην 1^η περίπτωση με 4 κυκλώματα φωτιστικών επιτυγχάνονται 4 επίπεδα φωτισμού ενώ στη 2^η με 2 κυκλώματα φωτιστικών και 2 επίπεδα φωτεινής ροής ανά φωτιστικό σώμα επιτυγχάνονται επίσης 4 επίπεδα φωτισμού. Ο αριθμός κυκλωμάτων ελέγχου και επομένως των αντίστοιχων επιπέδων φωτισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 χωρίς να προσμετράται το επίπεδο φωτισμού νύχτας.

3. Ομαδοποίηση φωτιστικών σωμάτων, συνεχής ρύθμιση της φωτεινής ροής έως ένα κατώτερο επίπεδο και έναυση/σβέση.

Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με τη 2^η μέθοδο με τη διαφορά ότι μπορεί να ρυθμίζεται η φωτεινή ροή των φωτιστικών σωμάτων σε συνεχόμενα επίπεδα έως ενός κατώτατου ορίου π.χ. 50%, 30%, κ.λπ. Με τον κατάλληλο διαμοιρασμό των φωτιστικών σωμάτων σε κυκλώματα επιτυγχάνεται συνδυασμός πολλαπλών διακριτών επιπέδων φωτισμού, όπως στην 1^η και 2^η μέθοδο, αλλά η μετάβαση από το ένα επίπεδο στο επόμενο γίνεται με συνεχή ρύθμιση της φωτεινής ροής προτού σβήσουν συγκεκριμένα φωτιστικά. Η συνδυαστική αυτή μέθοδος προτείνεται σε περιπτώσεις όπου η λειτουργία των φωτιστικών σωμάτων σε χαμηλά επίπεδα φωτεινής ροής αντενδείκνυται για λόγους ποιότητας ισχύος και χρόνου ζωής των φωτεινών πηγών.

4. Διευθυνσιοδότηση φωτιστικών σωμάτων και μέθοδος συνεχούς ρύθμισης της φωτεινής ροής σε όλο το εύρος λειτουργίας

Η μέθοδος αυτή αντιπροσωπεύει τη νέα γενιά συστημάτων αμφίδρομης επικοινωνίας και διαχείρισης μέσω των οποίων κάθε φωτιστικό σώμα ή και ομάδες φωτιστικών διευθυνσιοδοτούνται, ώστε να εκτελούν συγκεκριμένες εντολές έναυσης και σβέσης ή ρύθμισης της φωτεινής ροής σε κάθε δυνατό επίπεδο (0-100%). Σε αυτή την περίπτωση είναι εφικτή η δημιουργία σεναρίων φωτισμού με ακρίβεια μεταβολών λαμπρότητας. Κάθε επίπεδο φωτισμού συντίθεται από συγκεκριμένο επίπεδο φωτεινής ροής των φωτιστικών σωμάτων. Η μέθοδος οδηγεί συνήθως σε μικρότερη καλωδίωση, συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους.

11.5 Δυναμικός έλεγχος μέσω εξωτερικών και εσωτερικών μετρητικών διατάξεων

Ο φωτισμός μίας οδικής σήραγγας πρέπει να ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε να ακολουθεί τις μεταβολές της εξωτερικής λαμπρότητας του στομίου. Για το σκοπό αυτό πρέπει να εγκαθίσταται όργανο μέτρησης της λαμπρότητας στην απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης το οποίο θα μετρά συνεχώς την τιμή της λαμπρότητας L20 ή της Lseq. Για πρακτικούς λόγους, το όργανο μέτρησης λαμπρότητας τοποθετείται σε μεγαλύτερο ύψος από αυτό της θέσης του τυπικού οδηγού και εκτός οδοστρώματος (δεξιά ή αριστερά). Για αποφυγή λανθασμένων ενδείξεων είναι ενδεδειγμένη η βελτιστοποίηση του οπτικού πεδίου του οργάνου μέτρησης λαμπρότητας μέσω κατάλληλης στόχευσής του, ώστε το πεδίο μέτρησης λαμπρότητας να έχει ισοδύναμες αναλογίες περιβάλλοντος, ουρανού και δρόμου σε σχέση με το οπτικό πεδίο του τυπικού παρατηρητή (τυπικού οδηγού). Σε περίπτωση που η βελτιστοποίηση δεν είναι δυνατή, το όργανο μέτρησης πρέπει να στοχεύει στο κέντρο του στομίου του σήραγγας.

Το επίπεδο φωτισμού της σήραγγας ρυθμίζεται αναλόγως της ένδειξης του εξωτερικού οργάνου και σύμφωνα με την αντιστοίχιση που έχει προκύψει από τη μελέτη φωτισμού.

11.6 Φωτισμός σήραγγων αμφίδρομης κυκλοφορίας

Σε σήραγγες αμφίδρομης κυκλοφορίας μόνιμου χαρακτήρα, ο σχεδιασμός φωτισμού πραγματοποιείται και για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, ήτοι, για κάθε στόμιο εισόδου εκατέρωθεν της σήραγγας. Οι απαιτήσεις φωτισμού για τις ζώνες κατωφλίου, μεταβατικής και εσωτερικής υπαγορεύονται εκάστοτε από την εξωτερική λαμπρότητα L20 στομίου. Ο εσωτερικός φωτισμός και ο φωτισμός νύχτας είναι κοινός για ολόκληρη τη σήραγγα. Σε κάθε

περίπτωση θα πρέπει να καλύπτονται οι ελάχιστες απαιτήσεις για κάθε τυπικό παρατηρητή. Όταν η σήραγγα είναι μικρού σχετικά μήκους και οι ζώνες ενισχυμένου φωτισμού επικαλύπτονται στο εσωτερικό της σήραγγας, τότε ο ενισχυμένος φωτισμός της κάθε κατεύθυνσης σταματά στο σημείο έναρξης της επικάλυψης.

11.7 Βελτιστοποίηση σχεδιασμού φωτισμού σηράγγων

Ο μελετητής θα πρέπει να προβαίνει στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού φωτισμού σηράγγων αναλόγως με τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού οδοφωτισμού. Σε κάθε περίπτωση, στόχος του μελετητή είναι η εξεύρεση της τεχνικής λύσης που απαιτεί τη μικρότερη δυνατή εγκατεστημένη ισχύ ανά επίπεδο φωτισμού και την μικρότερη δυνατή ετήσια κατανάλωση ενέργειας. Τα ανωτέρω δύναται να συνδυάζονται με διάφορα οικονομικά κριτήρια.

Στην περίπτωση του φωτισμού σηράγγων, ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει τους ποιοτικούς δείκτες της §3.4 για να συγκρίνει εναλλακτικές τεχνικές λύσεις και να προκρίνει την πλέον συμφέρουσα. Στους δείκτες αυτούς (όπου απαιτείται) η επιφάνεια φωτισμού θα λαμβάνεται ως η επιφάνεια του οδοστρώματος, των πεζοδρομίων (εφόσον υπάρχουν) και των τοιχωμάτων έως τα 2 μέτρα ύψος.

Επιπρόσθετα, ο μελετητής συνίσταται να υπολογίζει τον συντελεστή q_c που ορίζεται στην Εξ.(17):

$$q_c = \frac{L}{E_v} \quad (17)$$

όπου:

q_c : Ο συντελεστής αντίθεσης

L : Η λαμπρότητα του οδοστρώματος στο σημείο υπολογισμού

E_v : Η ένταση κατακόρυφου φωτισμού στο σημείο υπολογισμού

Η ελάχιστη τιμή του δείκτη q_c ανά είδος φωτιστικού σώματος που χρησιμοποιείται είναι:

- Φωτιστικά έντονα ασύμμετρης δέσμης: q_c μεγαλύτερο ή ίσο του 0.60
- Φωτιστικά συμμετρικής ή σχεδόν συμμετρικής δέσμης : q_c περίπου ίσο με 0.15
- Φωτιστικά άλλης κατανομής: (δεν υπάρχει απαίτηση)

12. Έλεγχος συμμόρφωσης φωτισμού σηράγγων

12.1 Εισαγωγή

Στις μελέτες φωτισμού σηράγγων ορίζεται ότι θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται ειδικό κεφάλαιο «Οδηγιών Ελέγχου Συμμόρφωσης κατά την Υλοποίηση (Ο.Ε.Σ.Υ.)», το οποίο θα περιγράφει τις διαδικασίες που θα πρέπει να ακολουθούνται για τον έλεγχο συμμόρφωσης στη φάση εφαρμογής της μελέτης.

Ο έλεγχος συμμόρφωσης αφορά στους ποιοτικούς και ποσοτικούς ελέγχους που πρέπει να εκτελούνται στις οδικές σήραγγες τόσο μετά την εγκατάσταση ή αναβάθμιση του συστήματος όσο και σε τακτά χρονιά διαστήματα.

Ο έλεγχος στοχεύει στη δειγματοληπτική επιβεβαίωση των επιτευχθέντων αποτελεσμάτων είτε αφορά στον καθεαυτό εξοπλισμό (φωτιστικά, σύστημα ελέγχου κ.λπ.) είτε στην εγκατάσταση στο σύνολό της (απόδοση φωτισμού στο πεδίο)

Ο έλεγχος συμμόρφωσης δεν υποκαθιστά σε καμία περίπτωση τους ελέγχους του εξοπλισμού που προκύπτουν από τα πιστοποιητικά συμμόρφωσης που προβλέπονται στις Τεχνικές Προδιαγραφές, ούτε πιστοποιούν την παραγωγική διαδικασία του εξοπλισμού.

Οι έλεγχοι που θα προβλέπονται στις Ο.Ε.Σ.Υ., ειδικά όσον αφορά τα φωτιστικά σώματα και τις επιδόσεις τους μετά την ενσωμάτωση στην εγκατάσταση φωτισμού σήραγγας, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τις εργαστηριακές μετρήσεις του εξοπλισμού και τους επί τόπου ελέγχους της εγκατάστασης φωτισμού.

12.2 Εργαστηριακές μετρήσεις

Σε κάθε νέα εγκατάσταση φωτιστικών σωμάτων σε οδική σήραγγα, είτε σε αναβάθμιση υφιστάμενης, θα πρέπει να προβλέπονται δειγματοληπτικοί έλεγχοι του εξοπλισμού. Ο αριθμός των δειγμάτων προς έλεγχο εξαρτάται από το πλήθος των διαφορετικών τύπων φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιούνται. Σε κάθε περίπτωση, οι δειγματοληπτικοί έλεγχοι πρέπει να αντιπροσωπεύουν επαρκώς το σύνολο της εγκατάστασης που ελέγχεται.

Τα δείγματα από την ομάδα των φωτιστικών σωμάτων που πρόκειται να εγκατασταθούν στο πεδίο θα πρέπει να προβλεφθεί να λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης και να μην αποτελούν εργοστασιακά δείγματα προς έλεγχο.

Οι μετρήσεις θα πρέπει να προβλεφθεί να εκτελούνται από φορέα διαπιστευμένο για την εκάστοτε μέτρηση, ο οποίος θα διαθέτει τις κατάλληλες υποδομές και διακριβωμένο εξοπλισμό. Οι μετρήσεις θα πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με ένα από τα πρότυπα EN 13032, CIE S025 ή IES LM79.

Τα μεγέθη που θα πρέπει να προβλεφθεί να ελέγχονται, κατ' ελάχιστο, σε κάθε δείγμα αναγράφονται στον Πίνακα 30. Τα ελεγχόμενα μεγέθη συγκρίνονται με τα δεδομένα που παρέχονται από τον κατασκευαστή και οι αποκλίσεις δεν πρέπει να ξεπερνούν το αντίστοιχο ποσοστό όπως αναγράφεται στον ίδιο πίνακα.

Πίνακας 30 – Μετρούμενα μεγέθη κατά τον εργαστηριακό έλεγχο φωτιστικών σωμάτων.

Ελεγχόμενο μέγεθος ή χαρακτηριστικό	Μέγιστη απόκλιση από τη δήλωση του κατασκευαστή
Τάση λειτουργίας	-
Συνολικό ρεύμα φωτιστικού σώματος	-
Συνολική ισχύς φωτιστικού σώματος	+ 10%
Συντελεστής ισχύος φωτιστικού σώματος σε πλήρες φορτίο	- 0,05
Αρμονική παραμόρφωση ρεύματος φωτιστικού σώματος έως την 30 ^η αρμονική	+ 2%
Συνολική φωτεινή ροή φωτιστικού σώματος	- 10%
Κατανομή φωτεινής έντασης φωτιστικού σώματος	-
Μέσος όρος θερμοκρασίας χρώματος (CCT) μετρημένη στα επίπεδα C0-C330 με βήμα 60° και στις γωνίες $\gamma=0$ έως $\gamma=180^\circ$ με βήμα 30°).	$\pm 200K$
Μεταβολή ισχύος σε σχέση με τη φωτεινή ροή για φωτιστικά με ρυθμιζόμενη φωτεινή ροή από 100% έως 0% της φωτεινής ροής με βήμα ρύθμισης 10%	-
Φωτεινή πάλωση φωτιστικού σώματος (PstLM, SVM) στις συνθήκες ονομαστικής λειτουργίας και σε κάθε επίπεδο ρύθμισης φωτεινής ροής	+ 5%

12.3 Μετρήσεις πεδίου

12.3.1 Κατηγορίες μετρήσεων πεδίου

Οι κατηγορίες μετρήσεων πεδίου θα πρέπει να προβλέπονται στις Ο.Ε.Σ.Υ. ομοίως με αυτές της §6.3.1.

Οι μετρήσεις εκτελούνται από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό και σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση (Technical Report) CEN/CR 14380. Επιπρόσθετες απαιτήσεις ελέγχου δύναται να προβλεφθούν από τον μελετητή.

Οι αναφορές επί των μετρήσεων θα πρέπει να προβλεφθούν αναλυτικές με αναγραφή των επιμέρους μετρήσεων, υπολογισμό των δεικτών ποιότητας, όπου είναι απαραίτητο, των γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης, των καιρικών συνθηκών κ.α.

12.3.2 Ορισμός περιοχών μετρήσεων πεδίου

Οι μετρήσεις πεδίου στις οδικές σήραγγες εκτελούνται σε αντιπροσωπευτικούς κανάβους σε όλες τις επιμέρους ζώνες φωτισμού. Ο κάθε κανάβος ορίζεται ως η περιοχή μεταξύ δύο συνεχόμενων φωτιστικών του κυκλώματος φωτισμού νύχτας σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση (Technical Report) CEN/CR 14380. Ο ελάχιστος αριθμός των προβλεπόμενων προς μέτρηση κανάβων ορίζεται στον Πίνακα 31.

Πίνακας 31 – Ελάχιστος αριθμός κανάβων μέτρησης ανά ζώνη φωτισμού σήραγγας.

Ζώνη φωτισμού	Ελάχιστος αριθμός κανάβων
Εισόδου (τμήμα σταθερής λαμπρότητας)	2
Εισόδου (τμήμα γραμμικά μειούμενης λαμπρότητας)	2
Μεταβατική	6
Εσωτερική	2
Εξόδου	2

Ο ελάχιστος αριθμός μετρουμένων κανάβων ισχύει εφ' όσον η κάθε ζώνη υφίσταται και το μήκος αυτής επιτρέπει τον ορισμό του ελάχιστου αριθμού κανάβων. Σε αντίθετη περίπτωση μετρώνται όσοι αντιπροσωπευτικοί κανάβοι είναι δυνατόν να ορισθούν εντός της σήραγγας.

Η επιλογή των κανάβων μέτρησης γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η ορθή αξιολόγηση της καμπύλης μεταβολής της λαμπρότητας κατά μήκος της σήραγγας.

Ο ελάχιστος αριθμός κανάβων μπορεί να μειωθεί στο ήμισυ για τις μετρήσεις που διεξάγονται για θέματα συντήρησης.

12.3.3 Όργανα μέτρησης πεδίου

Τα όργανα μέτρησης των φωτομετρικών, γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μίας εγκατάστασης φωτισμού σήραγγων θα πρέπει να προβλεφθεί να είναι σχεδιασμένα για τη χρήση που προορίζονται, να διαθέτουν εν ισχύ πιστοποιητικά διακρίβωσης, και να καλύπτουν το εύρος μέτρησης κάθε μετρούμενου μεγέθους που αναμένεται να μετρηθεί στο πεδίο. Ενδεικτικές απαιτήσεις των οργάνων μέτρησης αναγράφονται στον Πίνακα 21 της §6.3.3

12.3.4 Μετρήσεις λαμπρότητας

Ο έλεγχος συμμόρφωσης εγκαταστάσεων φωτισμού σήραγγων πραγματοποιείται με τη μέτρηση της λαμπρότητας οδοστρώματος και τοιχωμάτων. Οι μετρήσεις εκτελούνται σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση (Technical Report) CEN/CR 14380 στους επιλεγμένους κανάβους κατά μήκος της σήραγγας. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιείται όργανο μέτρησης λαμπρότητας σύμφωνα με τα προαναφερόμενα. Οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται για όλα τα προκαθορισμένα επίπεδα φωτισμού της σήραγγας στους ίδιους κανάβους.

Οι μετρήσεις εκτελούνται από απόσταση 60 m από την αρχή του κάθε κανάβου και από ύψος 1.5 m από το έδαφος. Στην περίπτωση που η απόσταση των 60 m δεν είναι εφικτή, οι μετρήσεις εκτελούνται από μικρότερο ύψος και μικρότερη απόσταση αλλά σε κάθε περίπτωση η σχετική γωνία της θέσης μέτρησης από την αρχή του κανάβου είναι περί τη 1 μοίρα. Για λόγους ελαχιστοποίησης της όχλησης της κυκλοφορίας και της ενίσχυσης της ασφάλειας, μπορεί να γίνεται χρήση συστήματος μέτρησης λαμπρότητας επί κινούμενου οχήματος.

Οι μετρήσεις εκτελούνται επί στεγνού οδοστρώματος, χωρίς υγρασία και ξένα σώματα όπως σταθμευμένα οχήματα, οικοδομικά υλικά και άλλα εμπόδια επί των κανάβων. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρόσθετες πηγές φωτισμού εντός της σήραγγας είναι εκτός λειτουργίας εφ' όσον αυτό είναι εφικτό. Στην περίπτωση ελέγχου νέας εγκατάστασης η κατάσταση της ασφάλτου και η παλαιότητά σημειώνονται υποχρεωτικά.

Για κάθε θέση μέτρησης εξάγεται η μέση, η ελάχιστη και η μέγιστη λαμπρότητα οδοστρώματος και τοιχωμάτων μέχρι ύψους 2 m καθώς και η ομοιομορφία της λαμπρότητας. Από τις τιμές της μέσης λαμπρότητας οδοστρώματος σχεδιάζεται η καμπύλη κατανομής της λαμπρότητας κατά μήκος της σήραγγας και συγκρίνεται με την ονομαστική καμπύλη λαμπρότητας στο επίπεδο φωτισμού που ελέγχεται.

12.3.5 Μετρήσεις έντασης φωτισμού

Οι μετρήσεις έντασης φωτισμού εκτελούνται για τον έλεγχο των απαραίτητων επιπέδων φωτισμού του φωτισμού ασφαλείας ή της αξιολόγησης της απόδοσης των φωτιστικών σωμάτων χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν η επίδραση της ασφάλτου.

Οι μετρήσεις εκτελούνται σε κάθε σημείο των επιλεγμένων κανάβων σε επαφή με το έδαφος και σε οριζόντια θέση. Στην περίπτωση μέτρησης του φωτισμού ασφαλείας, τα φωτιστικά σώματα της σήραγγας τροφοδοτούνται από το σύστημα παροχής ισχύος ασφαλείας. Οι μετρήσεις της έντασης φωτισμού εκτελούνται στην περίπτωση αυτή, τόσο στο οδόστρωμα όσο και στα πεζοδρόμια εκατέρωθεν του οδοστρώματος, εφ' όσον υφίστανται, και εξάγεται ο μέσος όρος και η ελάχιστη τιμή της έντασης φωτισμού από όλα τα μετρούμενα σημεία

Η τιμή της έντασης φωτισμού σε κάθε σημείο καταγράφεται μόνο μετά τη σταθεροποίηση της ένδειξης του οργάνου. Σε κάθε περίπτωση αφαιρείται ο παράσιτος φωτισμός, εφ' όσον υπάρχει, μέσω μίας επιπρόσθετης μέτρησης με τα φωτιστικά σώματα εκτός λειτουργίας, αν αυτό είναι εφικτό. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στην αποφυγή σκιών στον αισθητήρα του οργάνου από το σώμα του οργάνου ή το χειριστή του ή από διάφορα εμπόδια πέριξ και εντός του κανάβου μέτρησης

12.3.6 Μέτρηση γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών

Στο πλαίσιο των μετρήσεων πεδίου, τα ακόλουθα γεωμετρικά μεγέθη θα πρέπει να προβλεφθεί να καταγράφονται:

- Μέγιστο πλάτος και μέγιστο ύψος σήραγγας
- Πλάτος οδοστρώματος
- Πλάτος κάθε λωρίδας κυκλοφορίας
- Πλάτος λωρίδας έκτακτης ανάγκης εφ' όσον υφίσταται
- Πλάτος πεζοδρομίων εφ' όσον υφίστανται
- Τυπική απόσταση μεταξύ των φωτιστικών φωτισμού νύχτας
- Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών
- Εγκάρσια απόσταση φωτιστικών από τον κεντρικό άξονα της σήραγγας
- Κλίση φωτιστικού σώματος σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο
- Επίκλιση οδοστρώματος
- Τύπος φωτιστικών σωμάτων.

Εφ' όσον υπάρχει δυνατότητα ηλεκτρικών μετρήσεων, καταγράφεται η τάση τροφοδοσίας των φωτιστικών σωμάτων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας καταγράφονται καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

13. Πρόβλεψη για τη συμμόρφωση υφιστάμενων εγκαταστάσεων οδοφωτισμού και φωτισμού σήραγγων

Η ισχύς του παρόντος κανονισμού είναι άμεση για τις νέες εγκαταστάσεις φωτισμού (οδοφωτισμός και σήραγγες) ενώ ισχύουν τα ακόλουθα για τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις.

13.1 Εγκαταστάσεις οδοφωτισμού

Οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις οδοφωτισμού πρέπει να εναρμονίζονται με τις διατάξεις του κανονισμού στις εξής περιπτώσεις:

- Αναβάθμιση του εξοπλισμού (φωτιστικά σώματα ή και σύστημα ελέγχου). Δεν αφορά στην τακτική συντήρηση του εξοπλισμού μέσω αλλαγής λαμπτήρων, διατάξεων έναυσης και τροφοδοσίας ή άλλης συντήρησης επί του εξοπλισμού.
- Επέκταση του υφιστάμενου δικτύου οδοφωτισμού
- Ύπαρξη συστήματος ρύθμισης της φωτεινής ροής των φωτιστικών σωμάτων σε επίπεδα που καλύπτουν τις απαιτήσεις των νέων κλάσεων φωτισμού.

Σε κάθε περίπτωση υφιστάμενης εγκατάστασης, ο εκάστοτε φορέας δύναται να καθορίσει τις νέες κλάσεις φωτισμού, ονομαστικές και κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού, όπως αυτές προκύπτουν από τις διατάξεις του κανονισμού. Εφ' όσον κρίνεται απαραίτητο, ο φορέας δύναται να σχεδιάσει ή να λειτουργήσει το σύστημα φωτισμού αναλόγως των νέων απαιτήσεων φωτισμού.

13.2 Εγκαταστάσεις φωτισμού σήραγγων

Στις υφιστάμενες σήραγγες, οι απαιτήσεις φωτισμού πρέπει να εναρμονίζονται με τις διατάξεις του κανονισμού σε περίπτωση αναβάθμισης του εξοπλισμού, των φωτιστικών σωμάτων ή και του συστήματος ελέγχου. Δεν αφορά στην τακτική συντήρηση του εξοπλισμού μέσω αλλαγής λαμπτήρων, διατάξεων έναυσης και τροφοδοσίας ή άλλης συντήρησης επί του εξοπλισμού.

Σε κάθε περίπτωση υφιστάμενης εγκατάστασης, ο εκάστοτε φορέας δύναται να επανεξετάσει τις απαιτήσεις φωτισμού της σήραγγας, να υπολογίσει τη λαμπρότητα L20 και το δείκτη k και να καθορίσει τις νέες καμπύλες μεταβολής της λαμπρότητας κατά μήκος της σήραγγας όπως αυτές προκύπτουν από τις διατάξεις του κανονισμού. Εφ' όσον κρίνεται απαραίτητο, δύναται να σχεδιάσει ή να λειτουργήσει το σύστημα φωτισμού αναλόγως των νέων απαιτήσεων.

14. Συντήρηση κανονισμού

Η ανανέωση, διόρθωση ή ο εμπλουτισμός του κανονισμού θα πρέπει να λαμβάνει χώρα στις ακόλουθες περιπτώσεις

- Μετά την πάροδο 5 ετών από την τελευταία ανανέωση κατά τα πρότυπα του ISO.
- Εφόσον τα ενσωματωμένα διεθνή πρότυπα προδιαγραφές οδηγού και η κοινή πρακτική έχουν αλλάξει σε βαθμό που απαιτείται η ανανέωση του κανονισμού σε διάστημα μικρότερο των 5 ετών.

Βιβλιογραφία

- [1] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201-1:2015 “Road lighting - Part 1: Guidelines on selection of lighting classes”
- [2] ΕΛΟΤ EN 13201-2:2016 “Road lighting - Part 2: Performance requirements”
- [3] ΕΛΟΤ EN 13201-3:2016 “Road lighting - Part 3: Calculation of performance”
- [4] ΕΛΟΤ EN 13201-4:2016 “Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance”
- [5] ΕΛΟΤ EN 13201-5:2016 “Road lighting - Part 5: Energy performance indicators”
- [6] BS 5489-1:2013 “Code of practice for the design of road lighting. Lighting of roads and public amenity areas”
- [7] CIE 115:2010 “Lighting of roads for motor and pedestrian traffic”
- [8] JRC:2019 “Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals”
- [9] PLG-02:2013 “Professional Lighting Guide - The Application of Conflict Areas on the Highway”
- [10] PLG-08:2016 “Professional Lighting Guide - Guidance on the Application of Adaptive Lighting within the Public Realm”
- [11] CIE 150:2017 “Guide on the limitation of the effects of obtrusive light”
- [12] ΟΜΟΕ - Τεύχος 2: Διατομές (ΟΜΟΕ-Δ)
- [13] EN13032 “Light and lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires”
- [14] IES LM 79:2019 “Approved Method: Optical and Electrical Measurements of Solid-State Lighting Products”
- [15] IEC 62717 “LED modules for general lighting - Performance requirements”
- [16] CIE 154:2003 “The maintenance of outdoor lighting systems”
- [17] ISO/CIE TS 22012:2019 “Light and lighting — Maintenance factor determination — Way of working”
- [18] Directive 2014/35/EU “Low Voltage Directive (LVD)”
- [19] Directive 2014/30/EU “Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)”
- [20] Directive 2009/125/EC “Eco-design”
- [21] Regulation (EU) 2017/1369 “Energy labelling”
- [22] Directive 2014/34/EU “ATEX”
- [23] Directive 2011/65/EU “Rohs”
- [24] EN 60598-1:2015 “Luminaires – Part 1:General requirements and tests”
- [25] EN 60598 2-3 :2003“Luminaires – Part 2-3: Particular requirements – Luminaires for road and street lighting”
- [26] EN/ IEC 62722-2-1:2014 “Guidelines for principal component reliability testing for LED light sources and LED luminaires”
- [27] ISO 17025:2017 “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”
- [28] CIE 88:2004 “Guide for the lighting of road tunnels and underpasses”
- [29] CIE 189:2010 “Calculation of tunnel lighting quality criteria”
- [30] ΕΛΟΤ (CEN) CR 14380:2004 “Lighting applications - Tunnel lighting”
- [31] Road and Transportation Research Association “Regulations for the equipment and operation of road tunnels” RABT 2016