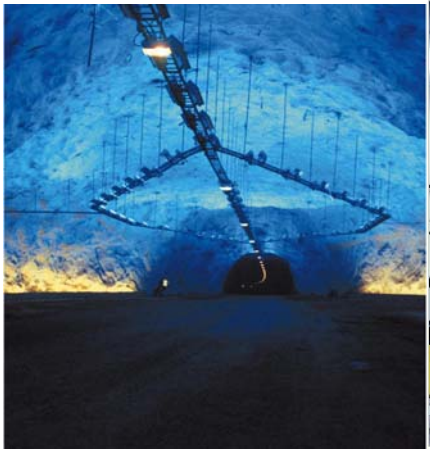
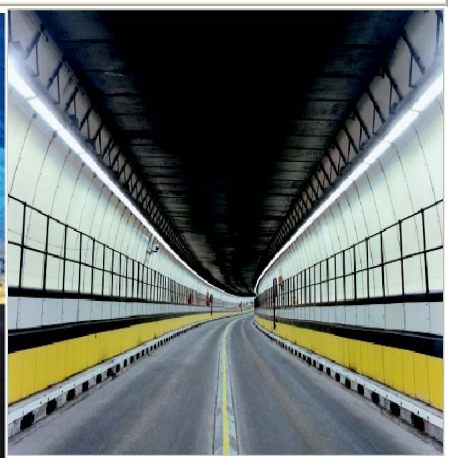
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
Και Μηχανικών Υπολογιστών

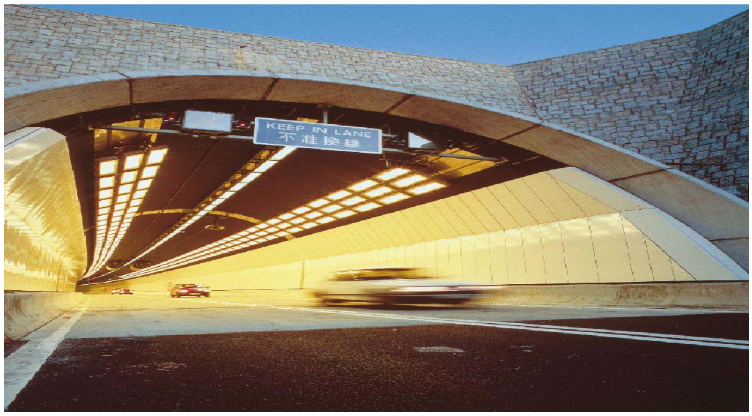
Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

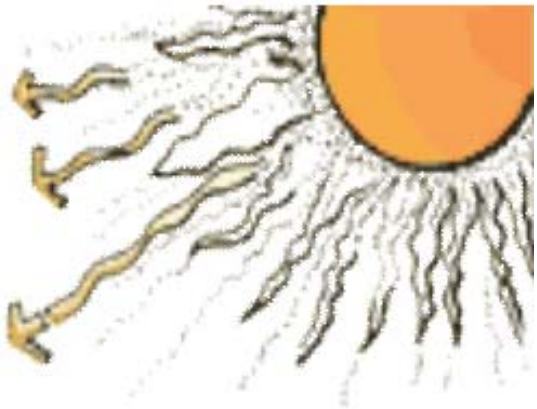
ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΤΑ CIE 88-1990 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Π. ΧΙΚΙΜΤΖΗΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ Β. ΤΟΠΑΛΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2003



Αφιερωμένη

Στον ήλιο μου……..στη γυναίκα μου,

Χρυσούλα

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΤΑ CIE 88-1990 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Π. ΧΙΚΙΜΤΖΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ Β. ΤΟΠΑΛΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Μαρτίου 2003

Φ. Β. Τοπαλής	**Ι. Α. Σταθόπουλος**	**Σ. Καβατζά**
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.	**Καθηγητής Ε.Μ.Π.**	**Λέκτωρ Ε.Μ.Π.**

ΑΘΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2003

…….

ΧΙΚΙΜΤΖΗΣ Π. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός
και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © 2003 – All Rights Reserved

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π Φραγκίσκο Β. Τοπαλή για την ανάθεση της παρούσας εργασίας και τη καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της συγγραφής της, καθώς και τον υποψήφιο Διδάκτορα Φίλιππο Κοροβέση για τη βοήθεια του.

Ειδικές ευχαριστίες οφείλω στον κ. Μαστροκώστα Νίκο, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό του τμήματος Ηλεκτρομηχανολογικών Μελετών της Εγνατίας Οδού για την αδιάλειπτη επικοινωνία και τις πολύτιμες υποδείξεις του.

Επίσης από τη θέση αυτή θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Χ. Καμπεζίδη του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για τη βοήθεια του στην εύρεση και παροχή πληροφοριών.

Ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στη γυναίκα μου Χρυσούλα, στην οποία αφιερώνεται αυτή η εργασία, που με στήριξε στην επίπονη αυτή διαδικασία της συγγραφής και στάθηκε ανεκτίμητος σύντροφος και συνεργάτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή ασχολείται με το φωτισμό των σηράγγων κατά **CIE 88-1990**, με βάση δηλαδή τους κανονισμούς της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού.

Στη μελέτη υπεισέρχεται και η χρήση υπολογιστή. Συγκεκριμένα γίνεται χρήση του προγράμματος ADELINE. Η χρήση του προγράμματος μας καθιστά ικανούς να εκμεταλλευτούμε το φυσικό φωτισμό στη πιο ενεργοβόρα μελέτη της σήραγγας, αυτή του φωτισμού. Επίσης πραγματοποιείται η εκτέλεση ειδικών προγραμμάτων για φωτισμό σηράγγων (DPTunnel της OPT και TULIP της Rayforge Services).

Η εργασία πραγματοποιείται στα πλαίσια της απόκτησης του διπλώματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών.

ABSTRACT

This work deals with the lighting of tunnels, based on the regulations of International Commission on Illumination , **CIE 88-1990**.

Into the study enters also the use of computer. Concretely, the program ADELINE is used. The use of this program enables us to exploit the natural lighting in the energy-wasting study of tunnel, that of lighting. Also is realised the application of special programs for lighting of tunnels (DPT of OPT and TULIP of Rayforge Services).

The work is realised in the frames of acquisition of diploma of Electrical and Computer Engineering.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ **1** **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

1. ΣΤΟΧΟΣ ΟΔΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 14

2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ 15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ **2** **ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 17

2.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 17

ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ 18
ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΖΕΥΞΗ ΑΚΤΙΟ-ΠΡΕΒΕΖΑ 22
ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΟΔΙΚΗ ΑΡΤΗΡΙΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ 23
ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑ ΓΙΑ ΤΗ ΖΕΥΞΗ ΤΟΥ ΜΑΛΙΑΚΟΥ 23

2.3 ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ 23

2.4 ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ 26

ΕΥΡΕΙΑ ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ ΠΑΤΡΑΣ 26

2.5 ΛΟΙΠΟΙ ΟΔΙΚΟΙ ΑΞΟΝΕΣ 28

2.6 ΟΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΣΤΟ ΚΟΣΜΟ 29

2.7 ΟΙ ΟΔΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ **3** **ΒΑΣΙΚΑ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ 38**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ **4** **ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΛΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ**

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 52

4.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 52

4.2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 52
4.2.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ 53

4.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΩΣΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 53

4.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 54

4.4.1 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 54
4.4.2 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΦΩΤΕΙΝΗ ΡΟΗ 54
4.4.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ 54
4.4.4 ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΟΨΗ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ 55

4.5 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 55

4.6 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΦΩΤΕΙΝΩΝ ΠΗΓΩΝ 55

4.7 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ 56

4.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ 56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

5.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ 58

5.2ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ 59

5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 60

5.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 60

5.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΤΑ CIE 88-1990

6.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ 69

6.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ 70

6.3 ΟΡΟΛΟΓΙΑ 72

6.3.1 ΖΩΝΕΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ 72
6.3.2 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΕΣ 75

6.4 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΡΟΜΩΝ 76

6.4.1 ΔΥΣΚΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ 76
6.4.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ 77

6.5 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΗΜΕΡΑΣ 77

6.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 77
6.5.2 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ 78
6.5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ L_{20} ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ CIE 78
6.5.4 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ 86
6.5.5 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ 87
6.5.6 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΖΩΝΗ 90
6.5.7 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΕΞΟΔΟΥ 90

6.6 ΝΥΧΤΕΡΙΝΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ 91

6.7 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ – ΘΑΜΒΩΣΗ - ΦΩΤΕΙΝΗ ΠΑΛΜΩΣΗ 92

6.7.1 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ (UNIFORMITY) 92
6.7.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ (GLARE) 92
6.7.3 ΑΠΟΦΥΓΗ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΠΑΛΜΩΣΗΣ (FLICKER) 92

6.8 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ 93

6.8.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΗΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 93
6.8.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ 95

6.9 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ CIE 88-1990 98

6.10 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ 99
6.10.1 ΔΙΕΥΘΥΝΣΙΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ (ADDRESSABLE) ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ 99
6.10.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 100
α. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΩΝ (50%-100%)
β. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ DIMMING
6.10.3 ΑΝΑΔΡΑΣΗ ΜΕ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 101
6.10.4 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΙΧΩΝ ΚΑΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ 101
6.10.5 ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ 104
6.10.5.1 ΧΡΗΣΗ ΣΚΕΠΑΣΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ 104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ADELINE

7.1 ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ 106

7.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 106
7.1.2 ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΙΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ 108
7.2 ADELINE 108

7.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 108
7.2.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ADELINE 109
7.2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ 110

7.2.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΘΟΛΟΥ 113

7.3 ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ADELINE 115

7.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ADELINE 123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΕΙΔΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 140

8.2 ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ DPTunnel 140

8.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ TULIP (TUNNEL LIGHTING PROGRAM) 160

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ-ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ-ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

9.1 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ 164

9.1.1 ΕΤΑΙΡΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ 166

9.1.2 ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ 169

9.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 172

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΓΕΝΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΣΗΡΑΓΓΩΝ 179

10. ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ- ΟΣΜΕΟ 179

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 ΠΕΠΛΟ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ 183

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 Η ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΟΔΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΣΤΟ ΚΟΣΜΟ -LAERDAL TUNNEL- 188

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 192

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΣΤΟΧΟΣ ΟΔΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο κυριότερος στόχος του οδικού φωτισμού είναι η βελτίωση της οδικής ασφάλειας κατά τη διάρκεια της νύχτας, προσδίδοντας συνθήκες καλής ορατότητας για τους χρήστες του οδικού δικτύου. Ο σωστός οδικός φωτισμός μπορεί να δημιουργήσει ένα περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας για ανοιχτές οδούς και κατά τη διάρκεια της ημέρας για σήραγγες, όπου οι οδηγοί θα είναι σε θέση να εντοπίζουν έγκαιρα και με ακρίβεια τα όρια του δρόμου, καθώς και τα τυχόν εμπόδια και αντικείμενα που θα βρεθούν μπροστά τους στο οδόστρωμα, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να αντιδρούν με ασφάλεια. Επιπλέον, η εγκατάσταση οδικού φωτισμού στοχεύει στην επίτευξη μιας ομαλής κυκλοφοριακής ροής, παρέχοντας βελτιωμένη απεικόνιση των γεωμετρικών και κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών της οδού και δυνατότητες ασφαλέστερης προσπέρασης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρήση, των υποδομών κατά τη διάρκεια της νύχτας και κατά τη διάρκεια της ημέρας όσον αφορά τις σήραγγες και κάτω από ευρεία ποικιλία καιρικών συνθηκών.
Μία εγκατάσταση φωτισμού πρέπει να παρέχει στον οδηγό τη δυνατότητα να καθορίζει:

1. Την κατάσταση του δρόμου στο τμήμα που θα διανύσει στα επόμενα 5 ως 10 sec.
2. Τη θέση του οχήματος και την κίνηση του για το παραπάνω τμήμα.
3. Τη θέση και την κίνηση των άλλων οχημάτων, τα οποία ήδη χρησιμοποιούν ή πρόκειται να χρησιμοποιήσουν το διάστημα αυτό.
4. Την ύπαρξη τυχόν εμποδίων στο οδόστρωμα στο εν λόγω τμήμα.
5. Τη σήμανση του δρόμου.

Έτσι ο οδηγός ενός κινούμενου οχήματος έχει τη δυνατότητα να προσλαμβάνει επαρκή οπτική πληροφορία για τη συνεχώς διαφοροποιούμενη θέα μπροστά του, ώστε να μπορεί να προχωρήσει με ασφάλεια, με λογική ταχύτητα κίνησης και να αντιδρά εγκαίρως στη σήμανση, κάνοντας τους σωστούς ελιγμούς. Στόχος του φωτισμού λοιπόν, είναι η δημιουργία ενός φωτεινού περιβάλλοντος και η μεγιστοποίηση της αντίθεσης λαμπρότητας μεταξύ των αντικειμένων και του περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο γίνονται ορατά.

Η ανάλυση διαφόρων μελετών οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι θάνατοι και οι τραυματισμοί σε οδικά ατυχήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορούν να μειωθούν σημαντικά αν εγκατασταθεί καλός φωτισμός στις παρακάτω κρίσιμες περιοχές του οδικού δικτύου:

- οδοί με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο.
- διασταυρώσεις.
- είσοδοι - έξοδοι αυτοκινητοδρόμων.
- σήραγγες και υπόγειες διαβάσεις.
- γέφυρες.
- σταθμοί διοδίων.

Ο οδικός φωτισμός είναι μία **σημαντική παράμετρος ασφάλειας και αποδοτικής λειτουργίας του οδικού δικτύου** με την προϋπόθεση όμως να είναι αποτελεσματικός, δηλαδή να ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά των εθνικών και διεθνών προδιαγραφών, οι οποίες εξασφαλίζουν την ποιότητα του συστήματος φωτισμού.

2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις σήραγγες ενσωματώνεται ένα μεγάλο πλήθος ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων που αφορούν κυρίως την ασφάλεια των χρηστών. Αυτές είναι φωτισμός, αερισμός, ανίχνευση καυσαερίων, πυρανίχνευση, πυρόσβεση, κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης, τηλέφωνα ανάγκης, σηματοδότηση και έλεγχος ύψους οχημάτων.

Από αυτές οι πιο ενεργοβόρες είναι ο φωτισμός και για τις μεγάλου μήκους σήραγγες, και ο αερισμός.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προγράμματα κατασκευής του ΥΠΕΧΩΔΕ, εκτιμάται ότι στην Ελλάδα σήμερα κατασκευάζονται ή βρίσκονται υπό δημοπράτηση ο μεγαλύτερος αριθμός οδικών σηράγγων από οποιαδήποτε άλλη χώρα στο κόσμο.

Καθίσταται συνεπώς, αναγκαία η ορθολογική διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται όλο το εικοσιτετράωρο. Μια σωστή μελέτη σε συνδυασμό με τη σωστή κατασκευή και ρύθμιση του φωτισμού μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση (μέχρι και 80%) της ηλεκτρικής ενέργειας που οφείλεται στον φωτισμό.

Μέρος της μελέτης μας περιλαμβάνει η εκμετάλλευση του Φυσικού Φωτισμού. Αυτή η δυνατότητα μας παρέχεται από το πρόγραμμα ADELINE.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι επομένως, ένα ειδικό θέμα μελέτης που αφορά τον φωτισμό οδικών σηράγγων κάνοντας χρήση του λογισμικού **ADELINE**, όπως και ειδικών προγραμμάτων για φωτισμό σηράγγων, το **DPTunnel** και το **TULIP (TUnnel LIghting Program)** .

Στο **κεφάλαιο 2** γίνεται αναφορά στα έργα που κατασκευάζονται αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα, στα έργα που έχουν ήδη κατασκευαστεί και παραδίδονται σε κυκλοφορία καθώς και στα έργα που δημοπρατούνται. Παρουσιάζεται επίσης η γενική κατάταξη της Ελλάδας σε μήκος σηράγγων παγκόσμια.

Στο **κεφάλαιο 3** αναφέρονται τα βασικά φωτοτεχνικά μεγέθη, η λειτουργία του ανθρώπινου ματιού και οι αντιδράσεις που αυτό έχει σε σχέση με το φωτισμό.

Στο **κεφάλαιο 4** αναλύονται οι βασικές αρχές που πρέπει να λάβουμε υπόψη προκειμένου να έχουμε καλό φωτισμό και οικονομική λειτουργία.

Στο **κεφάλαιο 5** γίνεται περιγραφή των διαφόρων συστημάτων φωτισμού που υπάρχουν και δίνονται τα πλεονέκτημα ,τα μειονεκτήματα και η χρήση του καθενός.

Στο **κεφάλαιο 6** δίνονται οι προδιαγραφές φωτισμού οδικών σηράγγων κατά CIE 88-1990 (International Commission on Illumination).

Στο **κεφάλαιο 7** δίνονται πληροφορίες σχετικά με το πρόγραμμα ADELINE. Γίνεται εφαρμογή του προγράμματος και εξαγωγή αποτελεσμάτων από αυτό. Αναλύεται η μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας με χρήση φυσικού φωτισμού στις σήραγγες.

Στο **κεφάλαιο 8** εκτελούνται τα ειδικά για φωτισμό σηράγγων προγράμματα DPTunnel (Φωτοτεχνική μελέτη) και αποκτούμε μια εικόνα για το λογισμικό TULIP (TUnnel LIghting Program).

Στο **κεφάλαιο 9** γίνεται αναφορά στους λαμπτήρες, τα φωτιστικά σώματα, στους μετρητές και στα συστήματα ελέγχου φωτισμού σηράγγων.

Στο **κεφάλαιο 10** κλείνουμε με προτάσεις και στρατηγικές που καλούμαστε να εφαρμόσουμε στην Ελλαδα προκειμένου να ανταποκριθούμε στις αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις της χώρας μας.

Τελειώνουμε με δύο παραρτήματα, όπου στο πρώτο γίνεται υπολογισμός του πέπλου λαμπρότητας και στο δεύτερο γίνεται αναφορά στη μεγαλύτερη οδική σήραγγα στο κόσμο καθώς και στις καινοτομίες που εφαρμόστηκαν σε αυτήν που αφορούν το φωτισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ραγδαίες κοινωνικοπολιτικές εξελίξεις της τελευταίας δεκαετίας του εικοστού αιώνα, στην ανατολική Ευρώπη και ιδιαίτερα στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων - Εύξεινου Πόντου, ανέτρεψαν τα υφιστάμενα γεωπολιτικά δεδομένα σε ολόκληρη τη Νοτιοανατολική Ευρώπη. Τα νέα αυτά δεδομένα, συνδυαζόμενα με την διαρκή εξασθένιση των οικονομικών συνόρων και την στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης να εντάξει τις δυναμικά αναπτυσσόμενες νέες αγορές της περιοχής στον ενιαίο Ευρωπαϊκό χώρο, επιβάλλουν την ανάπτυξη χερσαίων, θαλάσσιων και άλλων μεταφορικών διαδρόμων και διαμορφώνουν για τη χώρα μας τις κατάλληλες πολιτικοοικονομικές συνθήκες, προκειμένου να αποτελέσει κόμβο των διεθνών εμπορικών, ενεργειακών και άλλων αξόνων, προς νοτιοανατολική Ευρώπη και την ανατολική Μεσόγειο.

Η αξιοποίηση των συνθηκών αυτών από τη χώρα μας απαιτεί την υλοποίηση μεγάλων έργων υποδομής στον τομέα των χερσαίων, θαλάσσιων και εναέριων μεταφορών, καθώς και στον ενεργειακό και τηλεπικοινωνιακό τομέα. Από το Στρατηγικό Σχέδιο Ανάπτυξης της Συγκοινωνιακής Υποδομής "ΕΛΛΑΔΑ 2010", δικτύου κλειστών αυτοκινητόδρομων ταχείας κυκλοφορίας, αποτελούμενο από την "Εγνατία οδό", τον "ΠΑΘΕ" και το "Δυτικό Άξονα Β - Ν" (Ιονία Οδός), που μαζί με το εκσυγχρονιζόμενο βασικό σιδηροδρομικό δίκτυο θα αποτελέσει τη ραχοκοκαλιά της συγκοινωνιακής υποδομής της χώρας μας. Πάνω στη ραχοκοκαλιά αυτή προγραμματίζεται και επιβάλλεται να στηριχθούν τα λοιπά έργα συγκοινωνιακής υποδομής της χώρας, όπως οι αυτοκινητόδρομοι διασύνδεσης με γειτονικές χώρες, το λοιπό εθνικό οδικό δίκτυο, οι εθνικού επιπέδου λιμένες και αεροδρόμια καθώς και η εξεταζόμενη επέκταση του σιδηροδρομικού δικτύου μέχρι το λιμένα της Ηγουμενίτσας. Τα περισσότερα από τα μεγάλα έργα του υπόψη στρατηγικού σχεδιασμού έχουν αρχίσει να κατασκευάζονται με χρονικό ορίζοντα το έτος 2000 και για ορισμένα τις αρχές του 21ου αιώνα.

2.2 Ανάπτυξη Βορειοδυτικής Ελλάδος

Οι προαναφερθείσες μεταβολές μετατρέπουν τα βόρεια και δυτικά διαμερίσματα της χώρας από περιφέρεια της Ελλάδας στο κέντρο των Βαλκανικών οικονομικών δραστηριοτήτων, αφού, με τον μεταφορικό άξονα της Εγνατίας οδού και τις κάθετες προσβάσεις σ' αυτόν συνδέονται οι παραευξείνιες και βαλκανικές χώρες με την Δυτική Ευρώπη, μέσω των λιμένων Θεσσαλονίκης, Καβάλας, Αλεξανδρούπολης και Βόλου.

Ο αναβαθμισμένος ρόλος της βορειοδυτικής Ελλάδος κατέστησε δυνατή τη χρηματοδότηση των αναγκαίων μεγάλων έργων, για τη σύνδεσή της με την υπόλοιπη Ελλάδα και Ευρώπη και βοηθά στην έξοδό της από την απομόνωση και την υποανάπτυξη, που την είχε οδηγήσει ο γεωμορφολογικός αποκλεισμός της, βασικό ρόλο τον οποίο έφεραν σε πέρας οι σήραγγες στην Ελλάδα, καθώς διαπιστώνουμε ότι αποτελούν μεγάλο μέρος του Εθνικού Οδικού Δικτύου.

ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ

Στο κατώφλι του 21ου αιώνα το μεγαλύτερο έργο οδοποιίας που πραγματοποιείται στον Ελλαδικό και ένα από τα μεγαλύτερα στον ευρύτερο Ευρωπαϊκό χώρο, είναι η Εγνατία Οδός που αποτελεί ιστορική συνέχεια της Ρωμαϊκής Εγνατίας Οδού.

Η Εγνατία Οδός είναι ένας σύγχρονος Αυτοκινητόδρομος, μήκους 680 χλμ, που πρόκειται να αποτελέσει την μοναδική ίσως, οδική και κατά επέκταση επικοινωνιακή γέφυρα ανάμεσα στα ανατολικά και δυτικά σύνορα του βόρειου τμήματος της Ελλάδας. Ξεκινά από την Ηγουμενίτσα, διασχίζει τους νομούς Θεσπρωτίας, Ιωαννίνων, Γρεβενών, Κοζάνης, Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου και καταλήγει στους Κήπους, στα σύνορα με την Τουρκία.

Συμπληρώνεται με 9 Κάθετους Οδικούς άξονες που συνδέουν την Ελλάδα με την Αλβανία, την ΠΓΔΜ (FYROM), την Βουλγαρία και την Τουρκία. Ο κύριος άξονας πλαισιώνεται με παρόδιους βοηθητικούς δρόμους συνολικού μήκους 720 χλμ.

Η Εγνατία Οδός σχεδιάστηκε με τις προδιαγραφές των Διευρωπαϊκών δικτύων, διατομής κλειστού Αυτοκινητόδρομου με δύο ανεξάρτητους κλάδους κυκλοφορίας με διαχωριστική νησίδα, δύο λωρίδες κυκλοφορίας και μία έκτακτης ανάγκης ανά κλάδο, συνολικού πλάτους οδοστρώματος 24,5μ, στο μεγαλύτερο μήκος της, με εξαίρεση μικρά ορεινά τμήματά της.

Το γεγονός που την καθιστά από τα πλέον ενδιαφέροντα τεχνικά δρώμενα της Ελλάδας είναι επίσης το πλήθος των τεχνικών έργων που περιλαμβάνονται κατά μήκος του άξονά της.

ΣΗΡΑΓΓΕΣ

- Συνολικός αριθμός σηράγγων Εγνατίας Οδού **76**
- Μήκος μονών σηράγγων **99 χλμ**.
- Κόστος σηράγγων **30%** του συνολικού κόστους του έργου
- Οι περισσότερες σήραγγες βρίσκονται στις περιοχές Ηπείρου, και Δυτικής Μακεδονίας.
- Χρήση τεχνολογίας γεωτεχνικών κατασκευών.
- Το κόστος των σηράγγων κυμαίνεται από 2,6 εκ. δρχ ανά μέτρο μήκους έως 10,3 εκ. ανά μέτρο μήκους τοπικά για εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες.
- Δημιουργούνται εγκάρσιοι διάδρομοι διαφυγής.
- Εφαρμόζεται ειδικό σύστημα εξαερισμού.
- Ελέγχονται με υψηλού επιπέδου συστήματα τηλεματικής.

Κατά μήκος της Εγνατίας προβλέπονται 76 οδικές σήραγγες συνολικού μήκους 99 χλμ ανηγμένα σε μονό κλάδο και σε μήκος αυτοκινητοδρόμου 49,5χλμ, δηλαδή το **7% του μήκους του οδικού άξονα**, και κόστους 350 δις δρχ, περίπου το 30% της συνολικής δαπάνης κατασκευής. Προβλέπονται συνολικά **15 μεγάλες σήραγγες με μήκος που κυμαίνεται από 800μ. έως 4,6χλμ**. Καθοριστικό στοιχείο

του σχεδιασμού τους αποτελεί η πρόβλεψη εγκάρσιων διαδρόμων διαφυγής μεταξύ των κλάδων της σήραγγας για την περίπτωση πυρκαγιάς. Επίσης ιδιαίτερο βάρος δίνεται στην εγκατάσταση υψηλών προδιαγραφών συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου γενικώς της ασφαλούς λειτουργίας των σηράγγων.

ΜΕΓΑΛΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ

Περιφέρεια	Ονομασία Σήραγγας	Μήκος σε μέτρα
Ήπειρος	**Δωδώνη**	3.350
Ήπειρος	**Δρίσκου**	4.590
Ήπειρος	**Τ8**	2.130
Ήπειρος	**Κρημνού**	1.080
Ήπειρος	**Νέου Ανήλιου**	2.135
Ήπειρος	**Μετσόβου**	3.550
Θεσσαλία	**Παναγιάς**	2.700
Δυτική Μακεδονία	**Συρτού**	1.500
Δυτική Μακεδονία	**Κοιλώματος**	1.080
Δυτική Μακεδονία	**Βενέτικου**	1.210
Κεντρική Μακεδονία	**Σ10**	2.240
Κεντρική Μακεδονία	**Παγγαίου**	1.650

ΤΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ

Οι σήραγγες της Εγνατίας οδού κατασκευάζονται στις ορεινές περιοχές της, δηλαδή στις περιφέρειες Ηπείρου, Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας. Αναλυτικότερα, το συνολικό μήκος των σηράγγων είναι:

- στο Δυτικό Τομέα προβλέπονται 53.350μ. οδικών σηράγγων (ανηγμένα σε μονό κλάδο).
- στον Κεντρικό Τομέα προβλέπονται 39.480μ. οδικών σηράγγων (ανηγμένα σε μονό κλάδο).
- στον Ανατολικό τομέα προβλέπονται 6.512μ. οδικών σηράγγων (ανηγμένα σε μονό κλάδο) περιλαμβανομένων των σηράγγων της Μεσογειακής Χάραξης Στρυμόνας - Πέραμος.

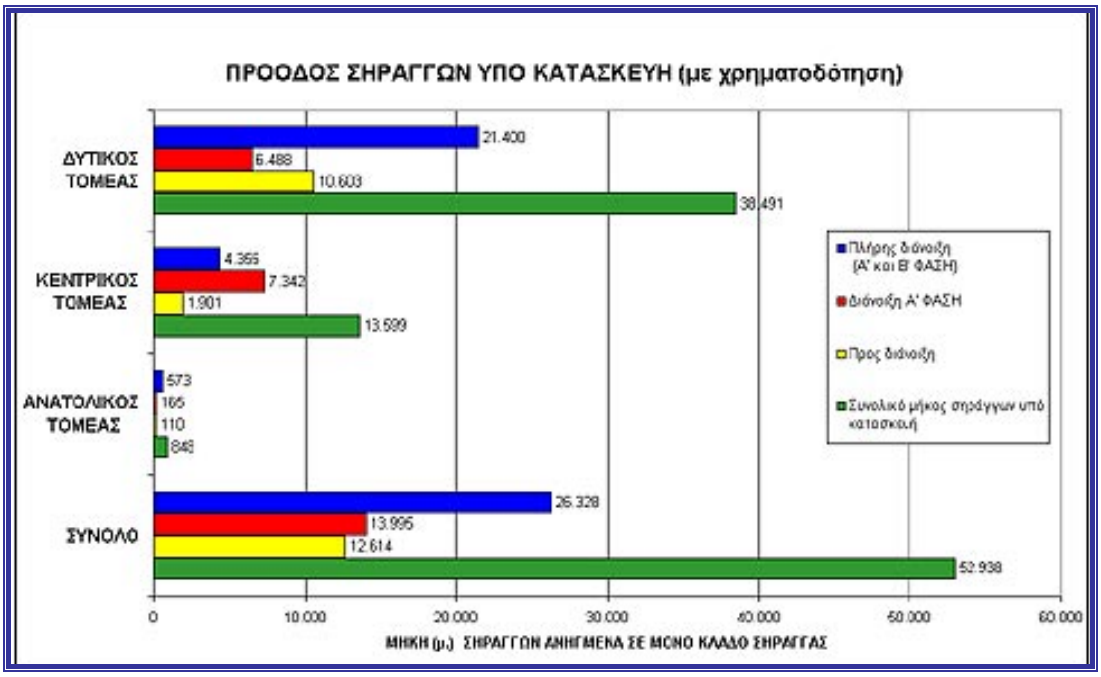
Συνολικά, όλα τα παραπάνω αθροίζονται σε 99.342μ. οδικών σηράγγων, ανηγμένα σε μονό κλάδο. Η τυπική διατομή σηράγγων της Εγνατίας Οδού προβλέπει ύψος περιτυπώματος κυκλοφορίας 5μ. με δύο λωρίδες κυκλοφορίας πλάτους 3,75μ. για κάθε κλάδο. Η πρόβλεψη για χώρους υπογείου πάρκινγκ σε κατάσταση ανάγκης, περιοχές αναστροφής κυκλοφορίας κλπ. ποικίλει ανάλογα με το μήκος και το καθεστώς κυκλοφορίας της σήραγγας.

Για την ασφάλεια των χρηστών στις σήραγγες δημιουργούνται εγκάρσιοι διάδρομοι διαφυγής (ανά 350μ. σήραγγας) που συνδέονται με τον δεύτερο κλάδο.

Με τον τρόπο αυτό παρέχεται άμεση διέξοδος στο χρήστη, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης όπως ατύχημα, πυρκαγιά κλπ.

Επίσης εφαρμόζεται ειδικό σύστημα αερισμού κατά μήκος, τόσο σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας όσο και εκκαπνισμού σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης - πυρκαγιάς. Το σύστημα λειτουργεί αυτόματα (και χειροκίνητα εάν απαιτείται), για τον έλεγχο και τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα των σηράγγων σε επιθυμητά επίπεδα. Τέλος, κέντρα ελέγχου με υψηλού επιπέδου συστήματα τηλεματικής εξασφαλίζουν την ασφαλή και οικονομική λειτουργία των σηράγγων όπως και όλου του Αυτοκινητοδρόμου.

ΜΗΚΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ m - (ανηγμένα σε μονό κλάδο σήραγγας)		**ΔΥΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ**	**ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ**	**ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ**	**ΣΥΝΟΛΟ**
Α. Μήκος σηράγγων υπό μελέτη		9.401	25.676	4.360	**39.437**
Β. Μήκος σηράγγων υπό κατασκευή	Πλήρης διάνοιξη (Α' και Β' ΦΑΣΗ)	21.400	4.355	573	26.328
	Διάνοιξη Α' ΦΑΣΗ	6.488	7.342	165	13.995
	Προς διάνοιξη	10.603	1.901	110	12.614
	Συνολικό μήκος σηράγγων υπό κατασκευή	**38.491**	**13.599**	**848**	**52.938**
Γ.Μήκος πλήρως κατασκευασμένων σηράγγων		**5.258**	**573**	**1.376**	**7.207**
Δ. Συνολικό μήκος σηράγγων (Δ=Α+Β+Γ)	**ΣΥΝΟΛΟ**	**53.150**	**39.848**	**6.584**	**99.582**



ΤΙ ΕΧΕΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΙ

Τα τμήματα που κατασκευάστηκαν πριν το 1994 και θεωρούνται ολοκληρωμένα για την πρώτη φάση του έργου έχουν συνολικό μήκος 94 χλμ. Εξ αυτών μόνον τα 25χλμ. είναι αυτοκινητόδρομος.

α/α	Κωδικός Ε.Ο.Α.Ε.	Οδικό Τμήμα	Μήκος Km	Διατομή	Παρατηρήσεις
1	3.4	**Σήραγγα Μετσόβου**	**3,50**	**Μονή σήραγγα**	Κοινό τμήμα με τον ΠΑΘΕ
2	7.0	Κλειδί - Κ1	25,00	Αυτοκινητόδρομος με διαχωριστική νησίδα και 3 λωρίδες ανά κατεύθυνση+ΛΕΑ (πλάτος 32m)	Εκπονείται η μελέτη νέας μεσόγειας χάραξης
3	12.0	Στρυμόνας - Ν.Πέραμος	49,00	Οδός πλάτους 14,0 m με 1λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση + ΛΕΑ	Εκπονείται μελέτη διαχωρισμού των κλάδων και παραπλεύρων οδών
4	15.4	Μέστη - Μάκρη	16,50	Οδός ταχείας κυκλοφορίας πλάτους 19,5 m με δύο λωρίδες κυκλοφορίας ανα κατεύθυνση	
	ΣΥΝΟΛΟ	94,00			

ΤΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΕΤΑΙ

ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΑΤΩΘΗΚΑΝ

	Περιφέρεια	Τμήμα Οδού	
			Km
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Σήραγγες Μεσοβουνίου και Γκρίκας	2,1
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Εργασίες εγκατάστασης Η/Μ εξοπλισμού για την ολοκλήρωση του αριστερού κλάδου της σήραγγας Σ1Ν	
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Ολοκλήρωση πλήρους διανοίξεως του δεξιού κλάδου της Σήραγγας Δωδώνης	
ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ	Δυτ. Μακεδ.	Η/Μ Σήραγγας Ταξιαρχών Τ11 & Τ12 και συμπληρωματικές ασφαλτικές εργασίες (2ο υποτμήμα)	

ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΣΕ ΕΞΕΛΙΞΗ			
	Περιφέρεια	Τμήμα Οδού	
			Km
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Εργασίες εγκατάστασης Η/Μ εξοπλισμού για την ολοκλήρωση του αριστερού κλάδου της σήραγγας Βασιλικού	
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Εκτέλεση Η/Μ εργασιών σήραγγας Βασιλικού & εργασίες σήμανσης-ασφάλειας από Ψηλορράχη εως κόμβο Τύριας	
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Κατασκευή επιχώματος μεταξή σηράγγων Μεσοβουνίου & Γκρίκας	
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Εργασίες εγκατάστασης Η/Μ εξοπλισμού για την ολοκλήρωση του δεξιού κλάδου της σήραγγας Σ1Ν	
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Σήραγγα Δωδώνης	3,7
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Εξοδος σήραγγας Δωδώνης-Α/Κ Ιωαννίνων(Εργασίες ολοκλήρωσης)	
ΔΥΤΙΚΟΣ	Ήπειρος	Σήραγγα Δρίσκου	4,8

ΤΙ ΔΗΜΟΠΡΑΤΕΙΤΑΙ

ΔΗΜΟΠΡΑΤΗΣΕΙΣ ΕΤΟΥΣ 2002			
Ι. Τμήματα της Εγνατίας			Ποσά σε εκατ. Ευρώ (με ΦΠΑ)
			Ενδεικτικός
α/α	Περιφέρεια	Τμήμα Οδού	Προϋπολογ.
			Δημοπρατησης
1	Ήπειρος	Σήραγγα Μετσόβου - Παναγιά & Η/Μ Σήραγγας Μετσόβου	73.300
2	Δυτική Μακεδονία	Σήραγγες Σ1, Σ2 και Α/Κ Πολυμύλου	35.200

ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΖΕΥΞΗ ΑΚΤΙΟ-ΠΡΕΒΕΖΑ

Με το έργο αυτό εξασφαλίζεται υποθαλάσσια η οδική διάβαση του διαύλου Πρέβεζας - Ακτίου και η ταχύτερη σύνδεση της Αιτωλοακαρνανίας και της νότιας Ελλάδας με την παραλιακή ζώνη των νομών Πρέβεζας - Θεσπρωτίας και του Λιμένα Ηγουμενίτσας.

Το συνολικό μήκος του έργου ανέρχεται στα 4.710 μέτρα, ενώ το **υπόγειο-υποθαλάσσιο τμήμα του έχει μήκος 1.570 μέτρων. Η οδική αυτή σήραγγα θα έχει δύο λωρίδες κυκλοφορίας και διαστάσεις 5 μ. (ύψος) x 8 μ. (πλάτος)**. Με αυτόν τον τρόπο, η κυκλοφορία των αυτοκινήτων στον άξονα Ηγουμενίτσα - Πρέβεζα - Άκτιο της Δυτικής Ελλάδας θα παρακάμπτει την πόλη της Πρέβεζας και θα βελτιωθεί ο χρόνος της διαδρομής κατά 35 λεπτά. Το υποθαλάσσιο τμήμα της σήραγγας εγκιβωτίζεται στον πυθμένα του διαύλου έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία του διαύλου και της ζεύξης και η ασφάλεια του έργου.

Η σήραγγα θα εξοπλιστεί με όλο τον απαραίτητο Η/Μ εξοπλισμό για φωτισμό, αερισμό, πυρασφάλεια κλπ, ενώ στις εξόδους της θα κατασκευαστούν δύο κτίρια για τη διαχείριση του εξοπλισμού και τον έλεγχο λειτουργίας.

Το έργο παραδόθηκε σε κυκλοφορία στις 28 Ιουνίου 2002.

ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΟΔΙΚΗ ΑΡΤΗΡΙΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Ολοκληρώθηκαν οι περιβαλλοντικές μελέτες καθώς και οι κυκλοφοριακές, πολεοδομικές, γεωτεχνικές και ηλεκτρομηχανολογικές προμελέτες του έργου και ξεκίνησε ο διαγωνισμός για την κατασκευή του με Σύμβαση Παραχώρησης.

Πρόκειται για οδική αρτηρία με 2 ή 3 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, συνολικού μήκους περίπου 4 χλμ. (από τη Δυτική Είσοδο μέχρι τη Λεωφόρο Αλεξάνδρας).

Το υποθαλάσσιο τμήμα είναι μήκους 1.240 μέτρων, ενώ συνολικά θα είναι σε σήραγγα σε μήκος περίπου 3 χλμ. (χερσαία & υποθαλάσσιο τμήματα). Η αρτηρία αυτή αναμένεται να έχει αρχικά κυκλοφορία της τάξεως των 60.000 οχημάτων ανά ημέρα. Στη σήραγγα θα υπάρχει πλήρες σύστημα μηχανικής απαγωγής και προσαγωγής αέρα, εγκαταστάσεις φωτισμού, πυροπροστασίας, σηματοδότες, παρακολουθήσεις και πληροφορήσεις, τηλεπικοινωνίες και αποχετεύσεις.

ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑ ΓΙΑ ΤΗ ΖΕΥΞΗ ΤΟΥ ΜΑΛΙΑΚΟΥ

Η ζεύξη του Μαλιακού πρόκειται για **υποθαλάσσια σήραγγα μήκους 3 χιλιομέτρων** από τον οικισμό Χιλιομίλι κοντά στον Άγιο Σεραφείμ και τη Σκάρλεια της Φθιώτιδας μέχρι τον Καραβόμυλο. Το έργο προβλέπει ακόμα την κατασκευή οδών σύνδεσης με τον εθνικό δρόμο συνολικού μήκους 7 χιλιομέτρων από τις δύο πλευρές. Με τη ζεύξη εκτιμάται ότι θα εξοικονομηθούν γύρω στα 40 χιλιόμετρα διαδρομής στις ακτές του Μαλιακού.

2.3 ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ

Η Αττική Οδός είναι ένας από τους πιο σύγχρονους αυτοκινητόδρομους στην Ευρώπη. Έχει σχεδιαστεί με αυστηρές προδιαγραφές ως κλειστός αυτοκινητόδρομος ταχείας κυκλοφορίας με διόδια, ώστε σύντομα να διασχίζουμε την Αττική απο άκρη σε άκρη με τη μεγαλύτερη ασφάλεια, χωρίς φανάρια.

Αποτελείται από δύο κύριους αυτοκινητόδρομους: τη Λεωφόρο Ελευσίνας-Σταυρού-Σπάτων μήκους 52,4 χλμ. και τη Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρο Υμηττού μήκους 12,9 χλμ. Διαθέτει ανά κατεύθυνση 3 λωρίδες κυκλοφορίας και μία λωρίδα έκτακτης ανάγκης. Με 32 πολυεπίπεδους κόμβους και εκατοντάδες άνω και κάτω διαβάσεις παρέχει ανεμπόδιστη κίνηση σε υψηλές ταχύτητες.

Είναι εφοδιασμένη με εκπαιδευμένες μονάδες παροχής βοήθειας και με τα πιο σύγχρονα μηχανήματα για τον εντοπισμό οποιουδήποτε συμβάντος, παρέχοντας στο χρήστη του αυτοκινητόδρομου υπηρεσίες υψηλής ποιότητας.

Κατασκευή

Τεχνικά Χαρακτηριστικά έργου	
Συνολικό μήκος λεωφόρου	65,20 χλμ.
Λοιποί βασικοί άξονες	31,33 χλμ.
Δίκτυο βοηθητικών/παράπλευρων οδών	150 χλμ.
Ανισόπεδοι κόμβοι	32
Οδικές γέφυρες - Άνω διαβάσεις	104
Οδικές γέφυρες - Κάτω διαβάσεις	38
Γέφυρες σιδηροδρομικών γραμμών	37
Πεζογέφυρες	15
Σήραγγες και πλήρως υπογειοποιημένα τμήματα Cut&Cover	**63**
Συνολικό μήκος σηράγγων και Cut&Cover	**15,64 χλμ.**
Διευθετήσεις ρεμάτων και Αντιπλημμυρικά έργα	66,7 χλμ.
Συνολική έκταση χώρων εγκαταστάσεων υποστήριξης	122.000 τ.μ

Σήραγγες & Cut&Cover

Γ.Ε.	Α/Α	Κωδικός Τεχνικού	Περιγραφή	Τύπος	Μήκη (*m*)			
					L1	L2	L3	L4
A01	1	TE56	Σήραγγα C&C Βορείου Κλάδου Ε.Λ.Ε.Σ.-Σ.		190,00			
	2	TE57	Σήραγγα C&C Νοτίου Κλάδου Ε.Λ.Ε.Σ.-Σ.		175,50			
A03	3	TE01	Σήραγγα Μαύρης Ώρας		395,20	392,50		
A06	4	TE08	C&C Ζεφυρίου		440,00	440,00	440,00	440,00
	5	TE08	Σήραγγα C&C (έξοδος τραίνου)		255,00			
A07	6	TE13a	C&C Βορείου Κλάδου Ε.Λ.Ε.Σ.-Σ.		82,00			
	7	TE13b	C&C Σιδ/μικής Γραμμής		115,00			
	8	TE05	C&C Βορείου και Νοτίου Κλάδου Ε.Λ.Ε.Σ.-Σ.		155,00	85,00		
	9	TE07	C&C Σιδ/μικής Γραμμής Μεσόγεια-Σ.Κ.Α.		45,00			
	10	TE16	C&C Σιδ/μικής Γραμμής Αθήνα-Μεσόγεια		45,00			
A08	11	TE01	C&C Ηρακλείου		261,00	261,00	261,00	
	12	TE04	C&C Μεταμόρφωσης		207,00	207,00	207,00	
A11	13	TE12	Σήραγγα C&C		580,00	580,00	580,00	
A12	14	TE01	Σήραγγα C&C		360,00	300,00	150,00	
	15	TE09	Σήραγγα C&C		160,00	160,00		
A14	16	TE02	Σήραγγα C&C		70,00	70,00	70,00	
A18B	17	TE01	Σήραγγα C&C		500,00	500,00		

A18A	18	TE13 - TE14	C&C Κλάδου 24A & 24B		95,00	95,00		
	19	TE11	Σήραγγα C&C		255,80	205,80		
A19	20	TE10	Σήραγγα C&C		92,00	152,00		
A20	21	TE01	Σήραγγα C&C κατάντη		95,00			
	22	TE02	Σήραγγα C&C ανάντη		108,00			
	22	TE03	Σήραγγα C&C Κλάδου 24A		280,00			
	24	TE07	Σήραγγα C&C Κλάδου 24Γ		140,00			
	25	TE14	Σήραγγα Κολλεγίου		560,00	640,00		
	26	TE20	Σήραγγα C&C		400,00	370,00		
	27	TE16	Σήραγγα C&C Κλάδου 28B		464,00			
	28	TE17	Σήραγγα C&C Κλάδου 28A		463,00			
	29	TE13	Σήραγγα Δημοκρίτου		275,00	290,00		
A21	30	TE01	Σήραγγα C&C		345,00	48,00	67,20	
	31	TE04	Σήραγγα C&C		195,00	103,20		
A22	32	TE02	Σήραγγα C&C		120,00	96,00		
Π22	33	TE02	Σήραγγα C&C Κλάδου 30Δ		230,00			
ΑΘΡΟΙΣΜΑ					8.153,50	4.995,50	1.775,20	440,00
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ					15.364,20			

Μεγάλο μέρος του έργου έχει δοθεί σε κυκλοφορία.

Το φωτισμό της Αττικής Οδού επιμελήθηκε η εταιρεία Philips.

Το πρόγραμμα φωτισμός Αττικής Οδού αποτελείται από 3 μέρη.

1. **Οδικός Φωτισμός**

Τον δρόμο φωτίζουν 7000 κομμάτια των συσκευών φωτισμού SRP 832, εξοπλισμένοι με λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης (SON T Plus) 250W και 400W. Οι λαμπτήρες των 400W εγκαθίστανται στους ιστούς σε ύψος 15 μέτρων σε μια ενιαία δευτερεύουσα ρύθμιση για να παρέχουν το κύριο φωτισμό, ενώ τα φωτιστικά των 250W εγκαθίστανται προσθετικά στους ιστούς σε ύψος 12 μέτρων κατά μήκος των παρόδων εισόδου και εξόδου των διατομών. Όλες οι συσκευές φωτισμού είναι εφοδιασμένες με το σύστημα εξασθένισης του φωτός προκειμένου να παρέχουν εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 40% κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Σύμφωνα με το σχέδιο φωτισμού στην πραγματική εγκατάσταση επιτυγχάνονται τα ακόλουθα επίπεδα φωτισμού:

Μέση Οδική Λαμπρότητα (cd/m^2)	**L_{av} >2**
Γενικός Συντελεστής Ομοιομορφίας	**U_o > 0.4**
Συντελεστής Διαμήκους Ομοιομορφίας	**U_l> 0.7**
Δείκτης Θάμβωσης-Κατώφλι Προσαύξησης	**G > 6 , TI< 10%**

2. **Φωτισμός Διοδίων**

Οι σταθμοί Διοδίων είναι φωτισμένοι με 800 SNF 111 ασύμμετρους προβολείς ακτίνων Comfortvision που εξοπλίζονται με σωληνοειδείς λαμπτήρες Νατρίου υψηλής πίεσης 1000 W που εγκαθίστανται σε ιστούς σε ύψος 35 μέτρων. Ο στόχος ήταν να παραχθεί ομοιόμορφος φωτισμός οριζόντιας έντασης μεγαλύτερη των 50 Lux, περιορίζοντας το έντονο φως σε σημείο ασφαλούς οδήγησης.

3. **Φωτισμός Υπόγειων Περασμάτων**

Οι 52 μικρές σήραγγες και άλλα περάσματα φωτίζονται με SRX202/3420 ασύμμετρου συστήματος φωτισμού με λάμπες Νατρίου Υψηλής Πίεσης των 150W, 250W, 400W και SRX204/3412 συμμετρικού φωτισμού των 70W,150W, 250W,400W. Η συνολική ποσότητα των λαμπτήρων είναι 14000 τεμάχια.

Ο σκοπός σε αυτό το τμήμα του δρόμου είναι είναι η ασφαλής οδήγησης δια μέσω των σηράγγων αποφεύγοντας το φαινόμενο της μαύρης τρύπας καθώς τα αυτοκίνητα πλησιάζουν τις σήραγγες με υψηλές ταχύτητες.

Το σχέδιο ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2000 και θα ολοκληρωθεί το 2004. Απαιτεί συνολικά περίπου 22000 εξαρτήματα. Το κόστος φτάνει τα 5.200.000 Ευρώ. Τα βασικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων της Philips είναι:

- Υψηλή Αποδοτικότητα
- Λειτουργικότητα
- Εξοικονόμηση Ενέργειας
- Εύκολη Συντήρηση

2.4 ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Η Πάτρα, το σημαντικότερο αστικό κέντρο της Δυτικής Ελλάδας, διαθέτει έναν πρωτοποριακό εξωτερικό περιφερειακό δακτύλιο, που υπήρξε αίτημα των πολιτών της εδώ και αρκετές δεκαετίες. Μια ευρεία περιμετρική οδός παρακάμπτει την Πάτρα και ανακουφίζει τον ιστό της πόλης από το κυκλοφοριακό φορτίο, συμβάλλοντας στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων της. Τέθηκε σε κυκλοφορία από τις 19 Δεκεμβρίου 2002.

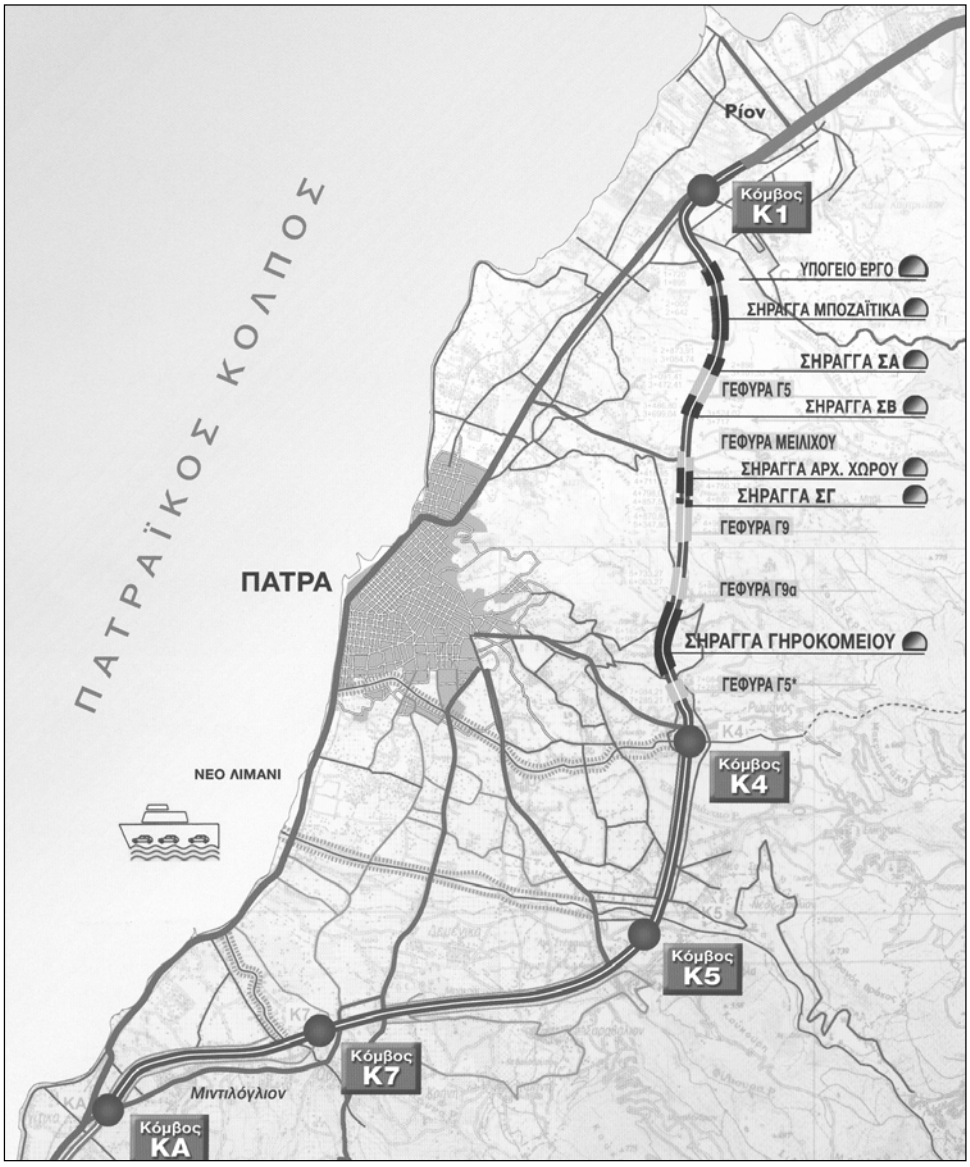
ΕΥΡΕΙΑ ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ ΠΑΤΡΑΣ

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

• 18,5 χλμ. αυτοκινητόδρομου μέσου πλάτους 25,5 μ
• **12 σήραγγες συνολικού μήκους 5 χλμ**.
• 8 κοιλαδογέφυρες συνολικού μήκους 2,6 χλμ.
• 9 γέφυρες κόμβων ή γεφύρωσης ποταμών
• 5 ανισόπεδοι κόμβοι
• 63 χλμ. παράπλευρο οδικό δίκτυο και οδοί εξυπηρέτησης
• 3 κτίρια εξυπηρέτησης
• 1.500.000 μέτρα καλωδιώσεων, οπτικών ινών και δικτύων χαλκού
• 350.000 μέτρα δικτύων σωληνώσεων πυρόσβεσης,

Δώδεκα* (12) σήραγγες*, συνολικού μήκους 5.100 μ.

✔ **Σήραγγα ΣΑ**: Δεξιός κλάδος μήκους 211 μ. και αριστερός κλάδος μήκους 204 μ,
✔ **Σήραγγα ΣΒ**: Δεξιός κλάδος μήκους 212 μ. και αριστερός κλάδος μήκους 193 μ.
✔ **Σήραγγα Γηροκομείου**: Δεξιός κλάδος μήκους 810 μ. και αριστερός κλάδος μήκους 802 μ.
✔ **Σήραγγα Αρχ/κού Χώρου**: Δεξιός κλάδος μήκους 449 μ. και αριστερός κλάδος μήκους 452 μ.
✔ **Σήραγγα Αγίας Βαρβάρας**: Δεξιός κλάδος μήκους 651 μ. και αριστερός κλάδος μήκους 706 μ.
✔ **Σήραγγα Μποζαΐτικα(C&C)**: Δεξιός κλάδος μήκους 193 μ. και αριστερός κλάδος μήκους 211 μ.



ΤΕΧΝΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΗΣ Ε.Π.Π.

Κατασκευάσθηκαν τρία κτίρια εξυπηρέτησης (Η/Μ εγκαταστάσεων), ένα κτίριο κεντρικού ελέγχου, και δυο κτίρια Αντλιοστασίων συνολικής επιφάνειας 1.771 m^2. Ένα εκτεταμένο δίκτυο ενδοεπικοινωνιών εξασφαλίζει την επικοινωνία μεταξύ των κτιρίων που εκτείνονται σε απόσταση περίπου 9,5 χιλιομέτρων. Η σύνδεση των κέντρων ενδοεπικοινωνιών γίνεται με οπτικές ίνες με κλειστό Βρόχο ώστε να εξασφαλίζεται διαθεσιμότητα ακόμα και σε κόψιμο της γραμμής. Αξιοσημείωτος είναι επίσης και ο εξοπλισμός της αρτηρίας. Περιλαμβάνει:

- Κεντρικό σύστημα εποπτικού ελέγχου (SCADA).
- Έλεγχο φωτισμού.
- Έλεγχο αερισμού.
- Πυρανίχνευση / κατάσβεση.
- Σταθμούς ανάγκης.
- Κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης (CCTV).
- Έλεγχο κυκλοφορίας / σήμανσης.
- Άρδευση σε όλο το μήκος της Ε.Π.Π.
- Ενδοεπικοινωνίες / ραδιοεπικοινωνίες.

Ενδεικτικά **εγκαταστάθηκαν:**

- Φωτισμός σηράγγων - οδοφωτισμός: 6.500 φωτιστικά σηράγγων και Ί .000 ιστοί οδοφωτισμού.
- Αερισμός σηράγγων με 64 ανεμιστήρες τύπου jet fan.
- Πυρανίχνευση-κατάσβεση, ειδικό καλώδιο γραμμικής ανίχνευσης 4.700 μ. Ανά 50μ. εντός των σηράγγων πυροσβεστική φωλιά(113 συσκευές).
- Οθόνες CCTV. Εντός των σηράγγων ανά 100 μ. υπάρχουν 72 συνολικά κάμερες που δίνουν εικόνα στο κέντρο ελέγχου.
- Συνολικά τα δίκτυα καλωδιώσεων, οπτικών ινών και χαλκού που εγκαταστάθηκαν έχουν μήκος 1.500.000 μ.
- Τα δίκτυα σωληνώσεων πυρόσβεσης, άρδευσης και διέλευσης καλωδίων ανέρχονται σε 350.000 μ.

2.5 ΛΟΙΠΟΙ ΟΔΙΚΟΙ ΑΞΟΝΕΣ

- **Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης (ΒΟΑΚ)**: Στο συνολικό μήκος των 315 χλμ. προστέθηκαν και παραδόθηκαν στην κυκλοφορία τμήματα μήκους 38 χλμ., προϋπολογισμού 24 δις δρχ. Κατασκευάζονται τμήματα του αυτοκινητόδρομου, συνολικού προϋπολογισμού 5,8 δις δρχ., ενώ βρίσκονται σε εξέλιξη διαδικασίες δημοπράτησης 3 εργολαβιών συνολικού προϋπολογισμού 12,8 δις δρχ.

- **Τρίπολη - Καλαμάτα**: Ολοκληρώθηκε το τμήμα του άξονα Τρίπολη - Καλογερικό, μήκους 8,6 χλμ., προϋπολογισμού 5,8 δις δρχ. Εκτελέστηκαν και συνεχίζονται εργασίες στο τμήμα "Έξοδος σήραγγας Ραψομμάτη - Λεύκτρο" μήκους 7 χλμ. προϋπολογισμού 9,0 δις δρχ. και έργα κατασκευής της σήραγγας Ραψομμάτη μήκους 1,4 χλμ. προϋπολογισμού 7,9 δις δρχ., με προβλεπόμενη περαίωση μέσα στο 2002.
- **Δυτικός Άξονας (Ιόνια Οδός)**: Εκτελέστηκαν και συνεχίζονται εργασίες για την κατασκευή των παρακάμψεων στις πόλεις Άρτα - Φιλιππιάδα και Αγρίνιο με συνολικό προϋπολογισμό 20,0 δις δρχ. Ολοκληρώθηκε η οδική σύνδεση του Νέου Λιμένα Ηγουμενίτσας προϋπολογισμού 5,2 δις δρχ. Ολοκληρώθηκε η Ζεύξη Ακτίου - Πρέβεζας προϋπολογισμού 26 δις δρχ. Εκτελέστηκαν και συνεχίζονται με εντατικό ρυθμό οι εργασίες κατασκευής της Ζεύξης "Ρίου - Αντιρρίου". Ειδικότερα η πορεία του έργου είναι συμβατή με το χρονοδιάγραμμα και οι 4 πυλώνες βρίσκονται στο θαλάσσιο χώρο με τους 3 στην οριστική τους θέση.

2.6 ΟΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΣΤΟ ΚΟΣΜΟ

ΧΩΡΑ	ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	**Laerdal**	24.510 m	27-11-2000
ΚΙΝΑ	**Zhongnanshan (2 tubes)**	18.040 m	2009
ΕΛΒΕΤΙΑ	**St.Gotthard / San Gottardo**	16.918 m	05.09.1980
ΑΥΣΤΡΙΑ	**Arlberg**	13.972 m	01.12.1978
ΚΙΝΑ (ΤΑΪΒΑΝ)	**Pinglin (twin tunnel + service)**	12.900 m	June 2003
ΓΑΛΛΙΑ-ΙΤΑΛΙΑ	**Fréjus**	12.895 m	12.07.1980
ΓΑΛΛΙΑ-ΙΤΑΛΙΑ	**Mont-Blanc –Monte Bianco**	11.611 m	19.07.1965
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	**Gudvanga**	11.428 m	17.12.1991
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	**Folgefonn**	11.130 m	15.06.2001
ΙΑΠΩΝΙΑ	**Kan-etsu(south bound tube)**	11.055 m	1991
ΙΑΠΩΝΙΑ	**Kan-etsu(north bound tube)**	10.926 m	1985
ΙΑΠΩΝΙΑ	**Hida(+emergency tunnel)**	10.750 m	2010
ΙΤΑΛΙΑ	**Gran Sasso d'Italia (East direction)**	10.176 m	01.12.1984
ΙΤΑΛΙΑ	**Gran Sasso d'Italia(West direction)**	10.173 m	1995
ΓΑΛΛΙΑ	**Le tunnel Est (Rueil-Malmaison à Versailles**	10.000 m	2004 - 2006

2.7 ΟΙ ΟΔΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οδικές σήραγγες στην Ελλάδα > 500 *m*

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
ΔΡΙΣΚΟΣ	4 574 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Shortest tube: 4570 m. Τμήμα Πεδινή-ποταμιά	ΕΜ
ΜΕΤΣΟΒΟ	3 550 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝ-ΤΡΙΚ.	Shortest tube: 3548 m (1993)	Ε 92-ΕΜ
Λιμένας Θεσσαλονίκης	3 398 m		ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	Shortest tube: 2920m. Υποθαλάσσια σήραγγα (υποθαλάσσιο μέρος: 2x1240)	
Μαλιακός	3 350 m		ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΦΘΙΩΤΙΔΑ	Υποθαλάσσια σήραγγα	Ε 75
Δωδώνη	3 228 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Shortest tube: 3220 m. Τμήμα Αγια Αναστασια-Πεδινή	ΕΜ
Παγγαίο	2 400 m	U.D.	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΣΕΡΡΕΣ	Τμήμα Ασπροβάλτα-Στρυμόνας	ΕΜ
Tunnel 1*	2 345 m	U.P.	ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 2345 m. Τμημα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
S 10*	2 250 m	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.		Second tube: 2250 m. Τμήμα Ολιαμος-Λευκόπετρα	ΕΜ
S 03*	2 135 m	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second tube: 2135 m. Τμήμα Αρακάτος-Περιστέρι	ΕΜ
Νέο Ανήλιο	2 119 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Shortest tube: 2020 m. Τμήμα Ανέλιο-Μέτσοβο	ΕΜ
New tunnel	2 100 m		ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΣΕΡΡΕΣ	Second tube: 2100 m. Τμήμα Στρυμόνας-Ν.Πέραμος Κάτω από την ευθυγράμμιση	ΕΜ
Συρτό	2 060 m	2003	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ.		Two tubes	ΕΜ
Πρέβεζα-Άκτιο	1 570 m	1999	ΔΥΤ.ΕΛΛΑΔΑ - ΗΠΕΙΡΟΣ	ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑ-ΠΡΕΒΕΖΑ	Υποθαλάσσια σήραγγα	Ε 55

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
Γηροκομείο	1552 m	2002	ΔΥΤ.ΕΛΛΑΔΑ	ΠΑΤΡΑ	Second tube: 1552 m - Παράκαμψη Πάτρας	
Tunnel 2*	1 433 m	U.P.	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 1433 m. Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
Τρίπολη	1 400 m		ΠΕΛΟΠΟΝ.	ΤΡΙΠΟΛΗ		Ε 65
Ραψομμάτης	1 320 m					
Αρτεμίσιον	1 300 m		ΠΕΛΟΠΟΝ.	ΝΑΥΠΛΙΟ-ΤΡΙΠΟΛΗ	Two tubes	Ε 65
Tunnel 13*	1 209 m	U.P.	ΔΥΤ.ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 1209 m. . Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
Tunnel 11*	1 160 m	U.P.	ΔΥΤ.ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 1160 m. . Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
Κρέμνο	1 081 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Shortest tube: 1079 m. Τμήμα Αντωχώρι-Ανήλιο	ΕΜ
Tunnel 3*	940 m	U.P.	ΔΥΤ.ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 940 m. . Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
Πάτρα	860 m	1999	ΔΥΤ. ΕΛΛΑΔΑ	ΠΑΤΡΑ	Shortest tube: 790 m. 175 m in C&C	Ε 65
Αγία τριάδα	860 m	2003	ΔΥΤ.ΜΑΚΕΔ		Two tubes	ΕΜ
S 1*	848 m	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΒΕΡΟΙΑ	Shortest tube: 808 m. Τμήμα Λευκόπετρα-Βέροια	ΕΜ
Βενέτικο	840 m	2003	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ.		Two tubes	ΕΜ
Βενέτικο	839 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Shortest tube: 764 m.Τμήμα Αντοχώρι-Ανήλιο. C&C	ΕΜ
S2*	807 m	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 800 m Τμήμα Αγία Αναστασία-Πεδινή	ΕΜ
Tunnel 12*	790 m	U.P.	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 790 m. Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
SN13*	780 m	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΗΜΑΘΙΑ	Second: tube: 780 m. Τμήμα Πολύμυλος-Λευκόπετρα	ΕΜ
SN1*	771 m		ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 750 m. Τμήμα Άγιος Νικόλαος-Κουμαριά	ΕΜ
S2*	750 m	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 540 m. Τμήμα Κρυσταλλοπηγή-Ψηλοράχη	ΕΜ
Δύο κορυφών	737 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Shortest tube: 737 m.Τμήμα Αντοχώρι-Ανήλιο. C&C.	ΕΜ
Tunnel 5*	715 m	U.P.	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 715 m. Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
Γκρίκα	710 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΗΓΟΥΜΕΝ.	Shortest tube: 657 m. Τμήμα Μακρυχώρα-Γκρίκα	ΕΜ
Αρχαιολ.χώρος	710 m	2002	ΔΥΤ. ΕΛΛΑΔΑ	ΠΑΤΡΑ	Second tube: 710 m – Παράκαμψη Πάτρας	
Αντοχώρι	707 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 675 m. Τμήμα Αντοχώρι-Ανήλιο. C&C.	ΕΜ
S3*	700 m		ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 700 m. Τμήμα Αγία Αναστασία-Πεδινή	ΕΜ
Tunnel 6*	700 m	U.P.	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 700 m. Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
Κωσταράκος	683 m	2006	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	ΤΡΙΚΑΛΑ	Τμήμα Μέτσοβο-Μαλακάση	ΕΜ
Tunnel 4*	640 m	U.P.	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 640 m / Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
American college	640 m	06.2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 560 m	ΙΥΥΡ

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ (μέτρα)	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
Tunnel 10*	630 m	U.P.	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 630 m. Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
Tunnel 13 TE12	580 m	12.2002	ΑΤΤΙΚΗ		C&C. Τρεις παράλληλοι σωλήνες κάθε 580 m	ΑΟ
Βασσιλικό	560 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΗΓΟΥΜΕΝ.	Shortest tube: 447 m. Τμήμα Λυκοπόδι-Μακρυχώρα	ΕΜ
Βραχάσι*	550 m		ΚΡΗΤΗ	ΑΓ.ΝΙΚΟΛ.		Ε 75
Νεοχώρι	530 m		ΗΠΕΙΡΟΣ	ΗΓΟΥΜΕΝ.	Τμήμα Γκρίκα-Κρυσταλλοπηγή	ΕΜ
Tunnel 8*	525 m	U.P.	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 525 m. Τμήμα Παναγία-Γρεβενά	ΕΜ
Βοτονόσι	522 m	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Shortest: tube: 499 m. Τμήμα Αντοχώρι-Ανήλιο. C&C.	ΕΜ
S12*	510 m	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΗΜΑΘΙΑ	Shortest tube: 490 m. Τμήμα Πολύμυλος-Λευκόπετρα	ΕΜ
Tunnel 17 TE01	500 m	12.2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	ΑΟ

Οδικές σήραγγες στην Ελλάδα < 500 m

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ (μέτρα)	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
Tunnel 27 TE16	464	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	IWP
S11*	463	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΗΜΑΘΙΑ	Shortest tube: 453 m / Section Πολύμυλος – Λευκόπετρα	ΕΜ
Tunnel 28 TE17	463	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	IWP
Μεσοβούνι	460	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΗΓΟΥΜΕΝ.	Shortest tube: 435m/Section Μακρυχώρα – Γκρίκα	ΕΜ

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ (μέτρα)	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
Tunnel 9*	446	U.P.	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Second tube: 446 m / Section Παναγιά - Γρεβενά	ΕΜ
Ζεφύρι	440	12/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Four parallel tubes each 440 m / C&C	ΑΟ
S1*	430	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 430 m / Section Κρυσταλοπηγή-Ψηλοράχη	ΕΜ
Tunnel 26 TE20	400	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 370 m / C&C	IWP
Μαύρη Ώρα	395	12/2002	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 393 m /	ΑΟ
Αγίου Νικολάου	377	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Shortest: tube: 349m / Section Αντοχώρι – Ανήλιο / C&C	ΕΜ
S7*	369	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΗΜΑΘΙΑ	Shortest tube: 300 m / Section Πολύμυλος – Λευκόπετρα	ΕΜ
S2*	366	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΒΕΡΟΙΑ	Shortest tube: 56 m / Section Λευκόπετρα - Βέροια	ΕΜ
Tunnel 14 TE01	360	12/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tubes: 300m, 150 m / C&C	ΑΟ
Tunnel 30 TE01	345	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tubes: 67m, 48 m / C&C	IWP
Μαλακάσι Α	343		ΘΕΣΣΑΛΙΑ	ΤΡΙΚΑΛΑ	Shortest tube: 145 m / Section Μέτσοβο - Μαλακάσι	ΕΜ
Μαλακάσι Β	300		ΘΕΣΣΑΛΙΑ	ΤΡΙΚΑΛΑ	Section Μέτσοβο - Μαλακάσι	ΕΜ
Νέστος	300	U.D.	ΑΝΑΤ. ΜΑΚΕΔ.-ΘΡΑΚΗ	ΚΑΒΑΛΑ	Second tube: 300 m / Section Χρυσούπολη – Βανιάνο	ΕΜ
T6*	290	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 290 m / Section Αρακάτος - Περιστέρι	ΕΜ
Δημόκριτος	290	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 275 m	IWP
Tunnel 23 TE03	280	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	IWP
Cut and Cover2*	269	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΗΓΟΥΜΕΝ.	Second: tube: 269 m / Section Λυκοπόδι – Μακρυχώρα	ΕΜ
S1*	269	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 269 m / Section Περιστέρι – Αντοχώρι / C&C	ΕΜ

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
Cut and Cover1*	265	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΗΓΟΥΜΕΝ.	Second: tube: 265 m / Section Λυκοπόδι – Μακρυχώρα	ΕΜ
Ταξιάρχες	263		ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΓΡΕΒΕΝΑ	Shortest tube: 256 m / Κοντά Κοζάνη	ΕΜ
Ηράκλειο	261	02/2001	ΑΤΤΙΚΗ		Three parallel tubes, each 261 m / C&C	ΑΟ
Tunnel 19 TE11	256	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 206 m / C&C a18a	IWP
Tunnel 5 TE08	255	12/2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	ΑΟ
Cut and Cover 1*	250	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΣΕΡΡΕΣ	Shortest tube: 120 m / Section Ασπροβάλτα - Στριμόνας	ΕΜ
Ασπροβάλτα	246	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΣΕΡΡΕΣ	Shortest tube: 233 m / Section Ασπροβάλτα - Στριμόνας	ΕΜ
Καβάλα	240	1999	ΑΝ.ΜΑΚΕΔ.-ΘΡΑΚΗ	ΚΑΒΑΛΑ	Two tubes	
S14/15*	240	2006	ΚΕΝΤΡ. ΜΑΚΕΔ.	ΗΜΑΘΙΑ	Shortest tube: 100 m / Section Πολύμυλος – Λευκόπετρα / C&C	ΕΜ
Παλιό	236		ΑΝ.ΜΑΚΕΔ. - ΘΡΑΚΗ	ΚΑΒΑΛΑ	Shortest tube: 232 m / Section Νέα Πέραμος - Καρβάλι	ΕΜ
Cut and Cover 9*	230		ΑΝ.ΜΑΚΕΔ. - ΘΡΑΚΗ	ΚΑΒΑΛΑ	Shortest tube: 232 m / Section Νέα Πέραμος - Καρβάλι	ΕΜ
Tunnel 33 TE02	230	12/2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	IWP
T1*	210	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 210m/Section Πεντίνι-Πλατανιά / C&C	ΕΜ
Μεταμόρφωση	207	02/2001	ΑΤΤΙΚΗ		Three parallel tubes, each 207 m / C&C	ΑΟ
Κάστρο	203	2006	ΑΝ.ΜΑΚΕΔ. - ΘΡΑΚΗ	ΚΑΒΑΛΑ	Shortest tube: 201 m / Section Νέα Καρβάλι - Χρυσούπολη	ΕΜ
S4*	200	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΒΕΡΟΙΑ	Second tube: 200 m / Section Λευκόπετρα-Βέροια	ΕΜ
Cut and Cover 5*	200	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΣΕΡΡΕΣ	Second tube: 200 m /Section Ασπροβάλτα-Στριμόνας	ΕΜ

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ (μέτρα)	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
S3*	199	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΒΕΡΟΙΑ	Shortest tube: 178 m / Section Λευκόπετρα –Βέροια	ΕΜ
Tunnel 31 TE04	195	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 103 m / C&C	IWP
Tunnel 1 TE56 ESSM North Branch	190	12/2002	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	ΑΟ
T5*	185	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second:tube: 185 m /Section ΠεντίνιΠλατανιά/C&C	ΕΜ
Μαλακάσι Γ	182		ΘΕΣΣΑΛΙΑ	ΤΡΙΚΑΛΑ	Shortest tube: 150 m / Section Μέτσοβο - Μαλακάσι	ΕΜ
S9*	180	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΗΜΑΘΙΑ	Second tube: 180 m / Section Πολύμυλος – Λευκόπετρα	ΕΜ
S5*	180	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΗΜΑΘΙΑ	Shortest tube: 160 m / Section Λευκόπετρα -Βέροια	ΕΜ
Cut and Cover 7*	180		ΑΝ.ΜΑΚΕΔ. - ΘΡΑΚΗ	ΚΑΒΑΛΑ	Shortest tube: 232 m / Section Νέα Πέραμος - Καρβάλι	ΕΜ
Tunnel 2 TE57 ESSM South Branch	175	12/2002	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	ΑΟ
Semishelter*	160	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΗΓΟΥΜΕΝ	Section Γκρίκα - Κρυσταλλοπηγή	ΕΜ
S6*	160	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ	ΗΜΑΘΙΑ	Shortest tube: 158 m / Section Πολύμυλος – Λευκόπετρα	ΕΜ
Βρασνά	160	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	Second tube: 160m /Section Ασπροβάλτα - Στριμόνας	ΕΜ
Tunnel 15 TE09	160	12/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Second tube: 160 m / C&C	ΑΟ
Cut and Cover*	155	2006	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	ΤΡΙΚΑΛΑ	Section Μέτσοβο - Μαλακάσι	ΕΜ
Tunnel 8 TE05 ESSM North & South Branch	155	12/2002	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 85 m / C&C	ΑΟ
Tunnel 20 TE10	152	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 92 m / C&Ca20	IWP
Cut and Cover2*	150	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	Second tube: 140 m / Section Νυμφόπετρα - Ασπροβάλτα	ΕΜ

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΠΑΡΧΙΑ	Σχόλια	Δρόμος
S2*	143	2003	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 143 m / Section Περιστέρι – Αντοχώρι / C&C	ΕΜ
T1*	140	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 140 m / Section Αρακάτος - Περιστέρι / C&C	ΕΜ
Cut and Cover1*	140	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	Second tube: 140 m / Section Νυμφόπετρα - Ασπροβάλτα	ΕΜ
Tunnel 24 TE07	140	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	IWP
Tunnel 32 TE02	120	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Shortest tube: 96 m / C&C	IWP
Tunnel 7 TE13b	115	12/2002	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	ΑΟ
S8*	112	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΗΜΑΘΙΑ	Shortest tube: 92 m / Section Πολύμυλος – Λευκόπετρα	ΕΜ
Tunnel 22 TE02	108	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	IWP
T6*	100	U.D.	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Second: tube: 100 m / Section Πεντίνι – Πλατανιά / C&C	ΕΜ
Cut and Cover 2*	95	2006	ΚΕΝΤ. ΜΑΚΕΔ.	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	Second tube: 95 m / Section Ασπροβάλτα - Στριμόνας	ΕΜ
Tunnel 18 TE13-14	95	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Second tube: 95 m / C&C a18a	IWP
Tunnel 21 TE01	95	06/2003	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	IWP
Tunnel 6 TE13a	82	12/2002	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	ΑΟ
Tunnel 16 TE02	70	12/2003	ΑΤΤΙΚΗ		Three parallel tubes, each 70 m / C&C	ΑΟ
Γραμμή Μεσσόγια - Αχαρνών	45	12/2002	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	ΑΟ
Γραμμή Αθήνα – Μεσσόγια	45	12/2002	ΑΤΤΙΚΗ		C&C	ΑΟ

UP: Υπό σχεδιασμό.
UD: Υπό μελέτη.
(*) : παρωνύμιο.
C&C : Cut and Cover.
ΕΜ : Εγνατία Οδός.
ΑΟ: Αττική Οδός (Ελευσίνα-Αεροδρόμιο Σπάτων).
IWP: Δυτική Περιφερεακή Υμηττού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΒΑΣΙΚΑ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

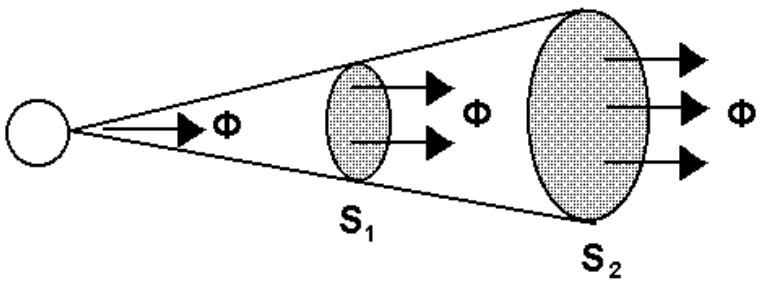
Φωτεινή ενέργεια

Με τον όρο Φωτεινή ενέργεια Q, εννοείται η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από μία πηγή, η οποία γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Όπως είναι γνωστό, μία πηγή ακτινοβολίας εκπέμπει ενέργεια που είναι κατανεμημένη ανομοιόμορφα στο φάσμα εκπομπής της πηγής συναρτήσει του μήκους κύματος λ τη κατανομή τη καθορίζει η Φασματική Ενέργεια ακτινοβολίας W_λ. Το κλάσμα της Ενέργειας W που εκπέμπεται στη ζώνη κύματος από 380 έως 780 nm είναι η ενέργεια του ορατού φωτός.

$$Q = \int_{380nm}^{780nm} V_\lambda \cdot dW(\lambda) = \int_{380nm}^{780nm} V_\lambda \cdot W_\lambda \cdot d\lambda \qquad (1)$$

όπου V_λ είναι ο Συντελεστής Φασματικής Ευαισθησίας του Ανθρώπινου Ματιού (καθαρός θετικός αριθμός μικρότερος της μονάδας).

Φωτεινή Ροή (Luminous Flux, Φ)



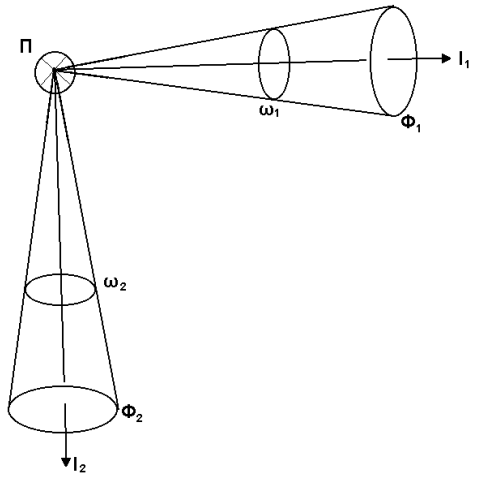
Σχήμα 1: Φωτεινή Ροή ή Φωτεινή Ισχύς Φ.

Ένα από τα θεμελιώδη και σημαντικότερα μεγέθη της φωτομετρίας είναι η Φωτεινή Ροή Φ μιας φωτεινής πηγής. Ορίζεται σαν η στοιχειώδη Φωτεινή Ενέργεια dQ που εκπέμπει μία σημειακή φωτεινή πηγή τοποθετημένη στην κορυφή ενός κώνου σε χρόνο dt προς το χρόνο αυτό. Δηλαδή είναι:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \qquad (2)$$

Είναι φανερό λοιπόν ότι η Φωτεινή Ροή είναι μαθηματικά η χρονική παράγωγος της Φωτεινής Ενέργειας και εκφράζει το ρυθμό μεταβολής αυτής. Επομένως η Φωτεινή Ροή αποτελεί μία μορφή ισχύος που αναφέρεται σε μία ακτινοβολία στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και για αυτό το λόγο ονομάζεται και Φωτεινή Ισχύς. Η μονάδα της είναι το **lumen (lm).**

Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity, I)



Σχήμα 2: Φωτεινή ένταση ή Ένταση Φωτεινής Πηγής I.

Η Φωτεινή Ένταση ή Ένταση Φωτεινής πηγής I ορίζεται σαν η στοιχειώδη Φωτεινή Ροή dΦ που εκπέμπει μία σημειακή φωτεινή πηγή μέσα σε μία στοιχειώδη στερεά γωνία dω προς την γωνία αυτή.

Δηλαδή είναι:

$$\mathrm{I} = \frac{d\Phi}{d\omega} \qquad (3)$$

Είναι φανερό λοιπόν ότι η Φωτεινή Ένταση είναι μαθηματικά η γωνιακή παράγωγος της Φωτεινής Ισχύος και καθορίζει προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση του στερεού χώρου το ποσό της Φωτεινής Ροής που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Από τον παραπάνω ορισμό φαίνεται ότι η Φωτεινή Ένταση I και η Φωτεινή Ροή Φ έχουν τις ίδιες διαστάσεις γιατί η γωνία (μετριέται σε sterad) είναι αδιάστατο μέγεθος. Η μονάδα της Φωτεινής Έντασης είναι η **candela (cd)** που ισούται με**:** $candela = \frac{lumen}{sterad}$**.**

Σύμφωνα με τη σχέση (3) η Φωτεινή ροή που εκπέμπει μία φωτεινή πηγή προς όλες τις κατευθύνσεις δίνεται από τη σχέση:

$$\Phi = \int_{0}^{4\pi} \mathrm{I} \cdot d\omega$$

Ένταση Φωτισμού επιφάνειας (Illuminance, E)

Η Ένταση Φωτισμού Ε ορίζεται σαν ο λόγος της στοιχειώδους Φωτεινής Ροής dΦ που πέφτει κάθετα σε μία στοιχειώδη επιφάνεια dS προς την επιφάνεια αυτή. Δηλαδή είναι:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \tag{4}$$

Η μονάδα της Έντασης Φωτισμού είναι το **lux (lx)** που ισούται με: $lx = \frac{lm}{m^2}$.

Λαμπρότητα (Luminance, L)

Η Λαμπρότητα L ορίζεται σαν ο λόγος της Φωτεινής Έντασης I της πηγής στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν S της επιφάνειας της πηγής το οποίο βλέπει ο παρατηρητής. Δηλαδή είναι:

$$L = \frac{I}{dS \cdot \cos(a)} \tag{5}$$

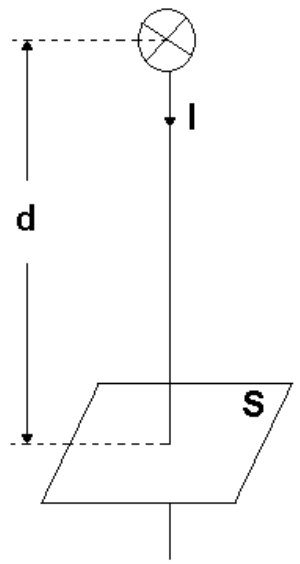
Είναι φανερό λοιπόν ότι Λαμπρότητα μαθηματικά είναι διανυσματικό μέγεθος και μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή της φωτεινής πηγής. Αν δύο σώματα έχουν την ίδια Φωτεινή Ένταση I αλλά διαφορετικές διαστάσεις είναι φανερό ότι το σώμα που για τον παρατηρητή «θα έχει το μικρότερο εμβαδόν» έχει την μεγαλύτερη Λαμπρότητα. Η μονάδα της Λαμπρότητας είναι το **Nit (nt)** που ισούται με: $nt = \frac{cd}{m^2}$.

Η Λαμπρότητα είναι ένα μέγεθος που αναφέρεται σε φωτοβολούσες επιφάνειες, άρα και σε ετερόφωτες φωτεινές πηγές. Η Λαμπρότητα των φωτιζόμενων επιφανειών και των φωτεινών πηγών αποτελεί σημαντική παράμετρο των μελετών φωτισμού, διότι σε αρκετές περιπτώσεις προκαλεί προβλήματα στην όραση και κόπωση του ματιού (οθόνες υπολογιστών, στιλπνές επιφάνειες κ.λπ.), ενώ γίνεται και πρόξενος

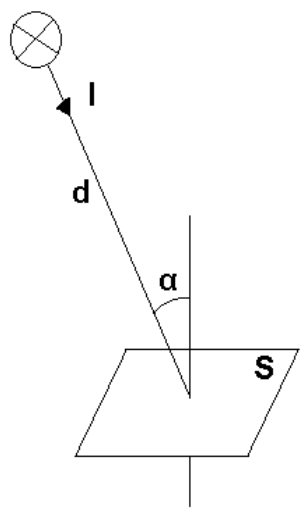
ατυχημάτων (λαμπρότητα οδοστρωμάτων κ.λπ.). Τα προβλήματα αυτά είναι γνωστά ως το φαινόμενο της **θάμβωσης**.

Παρόλο που η τιμή του φωτισμού δίνει μία γενική εικόνα για την ποιότητα μιας εγκατάστασης φωτισμού δεν μπορεί να θεωρηθεί το μέγεθος εκείνο το οποίο μπορεί να περιγράψει πλήρως την πραγματική κατάσταση. Αντίθετα, το μέγεθος της λαμπρότητας περιγράφει την πραγματική κατάσταση ενός φωτιζόμενου οδοστρώματος, καθώς εξετάζει την ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση στο οδόστρωμα και κατευθύνεται προς το μάτι του οδηγού, καθιστώντας το οδόστρωμα ορατό. Έτσι**, η <u>Λαμπρότητα</u> θεωρείται το αντικειμενικό μέτρο και το πιο σημαντικό κριτήριο για το φωτισμό του οδικού δικτύου.**

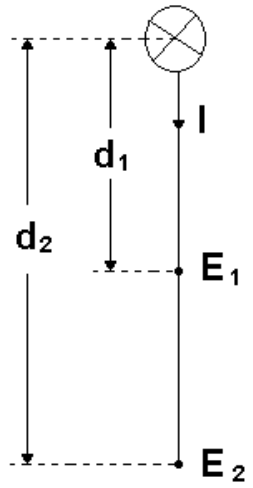
ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ



Σχήμα 3α.



Σχήμα 3β.



Σχήμα 3γ.

Ο **φωτομετρικός νόμος των αποστάσεων** είναι ένας από τους θεμελειώδεις νόμους της φωτομετρίας. Συνδέει μαθηματικά την ένταση φωτισμού μίας επιφάνειας Ε με την ένταση της φωτεινής πηγής I που φωτίζει:

$$E = \frac{I}{d^2} \qquad (6)$$

όπου d είναι η απόσταση της φωτιζόμενης επιφάνειας από την πηγή (Σχ. 3α). Ο παραπάνω νόμος ισχύει με την προϋπόθεση ότι η φωτεινή δέσμη προσπίπτει κάθετα στη επιφάνεια. Στην περίπτωση που η δέσμη φωτίζει την επιφάνεια υπό γωνία α ως προς την κάθετο (Σχ. 3β), εφαρμόζεται ο **φωτομετρικός νόμος του**

συνημιτόνου ο οποίος στην πραγματικότητα είναι η γενικευμένη μορφή του νόμου των αποστάσεων:

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos(a) \tag{7}$$

Η εφαρμογή του φωτομετρικού νόμου των αποστάσεων για το φωτισμό δύο επιφανειών που βρίσκονται σε απόσταση d_1 και d_2 αντίστοιχα από την φωτεινή πηγή (Σχ. 3γ), παρέχει μαθηματικά ένα άλλο χαρακτηριστικό της διάδοσης του φωτός:

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \tag{8}$$

Δηλαδή, η φωτεινή δέσμη «εξασθενεί» ανάλογα με το τετράγωνο του μήκους της διαδρομής της.

Ομοιομορφία λαμπρότητας (Uniformity, U).

Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό πάνω στο οδόστρωμα πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας σε αυτό να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία) είτε για διεύθυνση που συμπίπτει με τη διεύθυνση του παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία). Διακρίνονται τρείς συντελεστές ομοιομορφίας:

- **Γενικός συντελεστής ομοιομορφίας U_o**, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος Lmin/Lmed, ή Lmin/Lmax, όπου Lmin, Lmed, Lmax η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη λαμπρότητα αντίστοιχα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας.
- **Συντελεστής διαμήκους ομοιομορφίας U_l**, ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος Lmin/Lmax σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα της οδού. Η ανεπαρκής διαμήκης ομοιομορφία βλάπτει την άνεση και την ασφάλεια.
- **Συντελεστής εγκάρσιας ομοιομορφίας U_v**, ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος Lmin/Lmax σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα της οδού. Καλή εγκάρσια ομοιομορφία επιτρέπει στον οδηγό ευκρινής διάκριση της επιφάνειας της οδού σε όλο της το πλάτος.

Αντίθεση λαμπρότητας (Contrast, C).

Η αναγνώριση των αντικειμένων βασίζεται στη διαφορά λαμπρότητας των αντικειμένων και του περιβάλλοντος τους. Αυτή η διαφορά λαμπροτήτων αποτελεί την αντίθεση λαμπρότητας και δίδεται από την εξίσωση:

$$C=(L_o-L_b)/L_b \qquad (9)$$

όπου L_o είναι η λαμπρότητα του αντικειμένου και L_b η λαμπρότητα του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο μπορεί το αντικείμενο να γίνει ορατό (φόντο). Η τιμή της αντίθεσης λαμπρότητας κυμαίνεται από -1 ως + ∞. Στις θετικές τιμές το αντικείμενο εμφανίζεται σα φωτεινή εικόνα μέσα σε ένα σκοτεινό περιβάλλον. Συνήθως ο οδηγός αναγνωρίζει ένα αντικείμενο σα σκοτεινή φιγούρα μέσα στο φωτεινό περιβάλλον της επιφάνειας του οδοστρώματος (αρνητικές τιμές αντίθεσης).

Ακόμη υπάρχει ο συντελεστής αντίθεσης λαμπρότητας (contrast coefficient, q_C) ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$q_C = L/E_v \qquad (10)$$

όπου

L, η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου.

E_v, ο κατακόρυφος φωτισμός ενός αντικειμένου 0.2 m πάνω από την επιφάνεια του δρόμου, το οποίο αντικρίζει την κυκλοφορία που το προσεγγίζει.

Θάμβωση (Glare, G).

Θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε κάποιος να αισθάνεται ενόχληση και μείωση της ικανότητας να διακρίνει αντικείμενα εξαιτίας της μη κατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας, λόγω υπερβολικών αντιθέσεων λαμπρότητας. Πρακτικά μπορούμε να πούμε ότι η Θάμβωση μπορεί να αποφευχθεί όταν μεταξύ των σημείων του οπτικού πεδίου με την μέγιστη και την ελάχιστη λαμπρότητα ισχύει η σχέση:

$$\frac{Lmax - Lmin}{Lmax} \leq 10\% \qquad (11)$$

Η Θάμβωση παρουσιάζεται με τρεις μορφές:

- **την απόλυτη Θάμβωση** (dazzle), η οποία οφείλεται σε υπερβολικά μεγάλη λαμπρότητα μέσα στο οπτικό πεδίο (τιμές μεγαλύτερες από 10.000 cd/m^2).
- **την ψυχολογική Θάμβωση ή Θάμβωση ενόχλησης** (psychological glare, discomfort glare), κατά την οποία δημιουργείται μία δυσφορία στον οδηγό και μία έλλειψη άνεσης(unpleasantness).
- **τη φυσιολογική Θάμβωση ή Θάμβωση ανικανότητας** (psychological glare, disability glare), η οποία όπως και η απόλυτη Θάμβωση συνδέεται με τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός σε όλο το οπτικό πεδίο, το οποίο μειώνει την αντίθεση λαμπρότητας μεταξύ ενός αντικειμένου και του περιβάλλοντος του. Αντιστοιχεί λοιπόν σε μια πρόσθετη λαμπρότητα (ισοδύναμη λαμπρότητα πέπλου-Veiling Equivalent Luminance (L_{seq})), που επικάθεται στο οπτικό πεδίο μειώνοντας την αντίθεση λαμπρότητας. Το ποσοστό κατά το οποίο

πρέπει να αυξηθεί ο φωτισμός του περιβάλλοντος για να γίνει ένα αντικείμενο ορατό και πάλι ορίζεται ως προσαύξηση κατωφλίου της λαμπρότητας του περιβάλλοντος (Threshold Increment, TI).

Η μείωση της οπτικής ικανότητας του οδηγού εξαιτίας του φαινομένου της θάμβωσης μπορεί να είναι αιτία ατυχήματος, ιδίως όταν το όχημα κινείται με μεγάλη ταχύτητα.

Φωτεινή πάλμωση (Flicker Effect).

Η φωτεινή πάλμωση είναι το αποτέλεσμα της περιοδικής αλλαγής της λαμπρότητας στο πεδίο της όρασης, εξαιτίας της απόστασης μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων.

Ταχύτητα σχεδιασμού (Design Speed).

Ορίζεται ως η ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του δρόμου, στην οποία οι οδηγοί των μεμονωμένων οχημάτων μπορούν να κινούνται με ασφάλεια όταν δεν εμποδίζονται από την υπόλοιπη κυκλοφορία.

Απόσταση πεδήσεως (Stopping Distance).

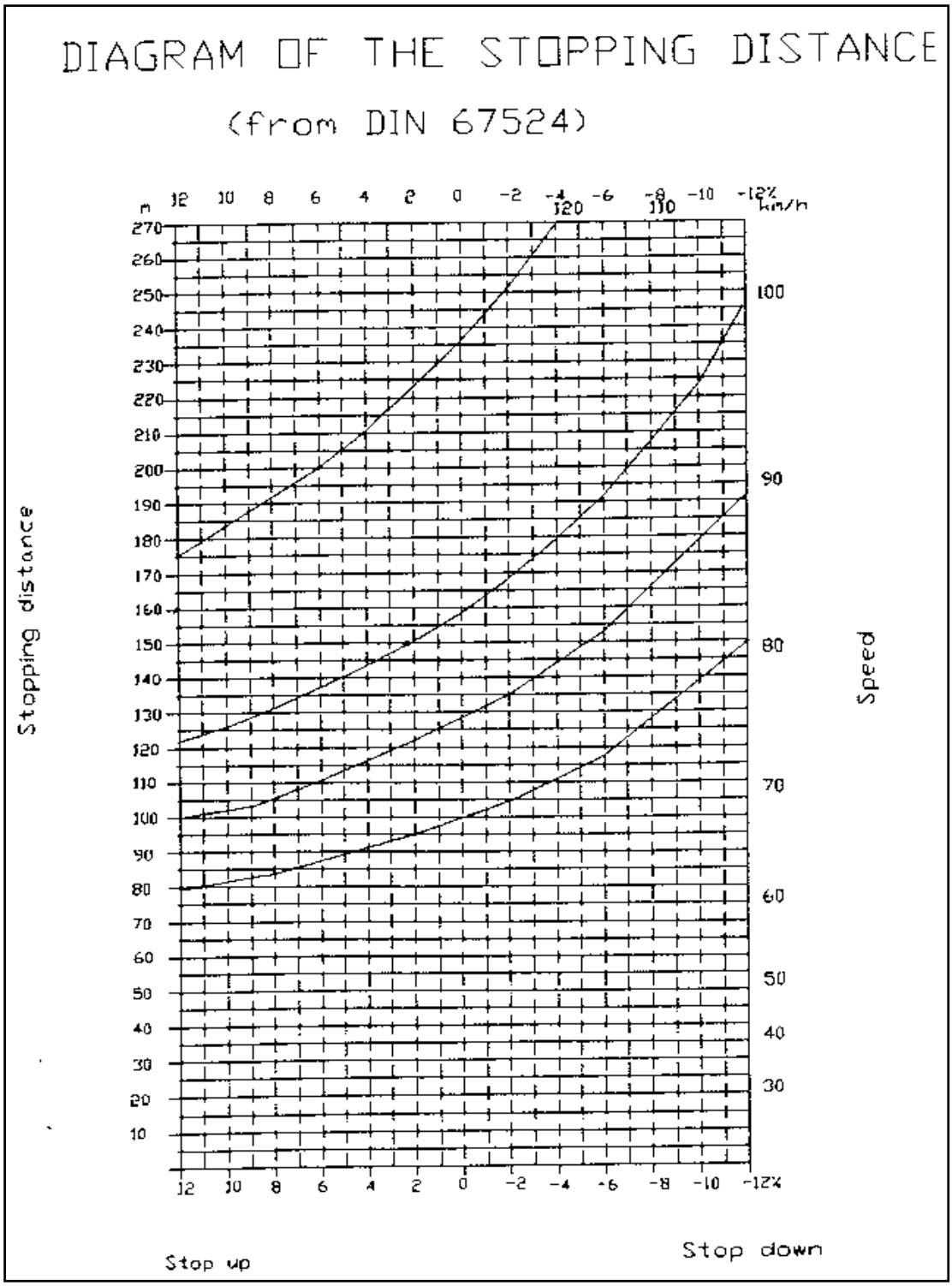
Απόσταση πεδήσεως είναι η απόσταση που απαιτείται για να σταματήσει με ασφάλεια ένα όχημα που κινείται με την ταχύτητα σχεδιασμού. Σε αυτήν την απόσταση ο χρήστης της οδού πρέπει να είναι σε θέση να βλέπει το δρόμο, έτσι ώστε να μπορέσει να αντιληφθεί κάθε εμπόδιο, να το αναγνωρίσει και να σταματήσει το όχημα του σε τέτοιο χρόνο που να μη θέσει σε κίνδυνο τον εαυτό του ή το αντικείμενο ή την κυκλοφορία που ακολουθεί. Περιλαμβάνει τόσο την απόσταση που καλύπτει το όχημα κατά τη διάρκεια της αντίδρασης του οδηγού, όσο και την απόσταση που καλύπτει το όχημα κατά το φρενάρισμα μέχρι να σταματήσει τελείως.

Η απόσταση πέδησης εξαρτάται από τη κλίση του δρόμου και για τον καθορισμό της χρησιμοποιούμε το Διάγραμμα των Γερμανικών κανονισμών **DIN 67524 (Διάγραμμα 3.1).**

Συντελεστής συντήρησης (Maintenance Factor).

Ο συντελεστής συντήρησης είναι ο λόγος της φωτεινής απόδοσης σε lumens του συστήματος φωτισμού προς τα αρχικά lumens που απέδιδε. Μπορεί να καθορισθεί με λογική ακρίβεια με τον υπολογισμό των ποικίλων παραγόντων απώλειας φωτός, οι οποίοι συμβάλλουν στα επίπεδα φωτισμού κατά τη λειτουργία του συστήματος. Μερικοί βασικοί παράγοντες απώλειας είναι η συσσώρευση σκόνης στα φωτιστικά σώματα, το σβήσιμο και η αστοχία κάποιων λαμπτήρων, ο συντελεστής των επαγωγικών αντιδράσεων τάσης, η ρύπανση της επιφάνειας των τοιχωμάτων της σήραγγας, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος του λαμπτήρα και η υποτίμηση της απόδοσης των λαμπτήρων.

Διάγραμμα 3.1: **Γράφημα υπολογισμού της απόστασης πέδησης SSD.**



Ανάκλαση (Reflectance).

Ανάκλαση ορίζεται ο λόγος της ροής που ανακλάται από μία επιφάνεια προς τη ροή που προσπίπτει σε αυτήν την επιφάνεια. Μία βοήθεια για τη διευκόλυνση των υπολογισμών της λαμπρότητας κατά το σχεδιασμό μίας εγκατάστασης φωτισμού αποτελεί ένα σύστημα ταξινόμησης των επιφανειών των δρόμων ανάλογα με τις ιδιότητες ανάκλασης που παρουσιάζουν με βάση περιγραφικές παραμέτρους. Ένα τέτοιο σύστημα δεν απαιτεί μία μεγάλη ομάδα πινάκων ανάκλασης και είναι απλό στη χρήση του. Δίνει τη δυνατότητα για δεδομένο τύπο λαμπροτήτων να υπολογίζονται οι φωτομετρικοί παράγοντες όπως η λαμπρότητα, η ομοιομορφία της λαμπρότητας και ο περιορισμός της θάμβωσης, καλύπτοντας όλες τις στεγνές επιφάνειες δρόμου. Το σύστημα ταξινόμησης μπορεί να απλοποιηθεί με τη μείωση των ομάδων κατάταξης μιας επιφάνειας, όταν δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στους υπολογισμούς.

Ένα σύστημα κατάταξης ομαδοποιεί τα στεγνά οδοστρώματα σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του κατοπτρικού συντελεστή S1. Στον παρακάτω Πίνακα 3.1 : **Σύστημα κατάταξης στεγνών οδοστρωμάτων R** παρουσιάζονται τα όρια κάθε κατηγορίας.

Πίνακας 3.1 : Σύστημα κατάταξης στεγνών οδοστρωμάτων R

Κατηγορία	Πίνακας προτύπων τιμών	Όρια S1	Τιμές Q_0
RI	R1	S1<0.42	0.10
RII	R2	0.42 <S1< 0.85	0.07
RIII	R3	0.85 <S1< 1.35	0.07
RIV	R4	1.35 < S1	0.08

Ένα άλλο σύστημα κατάταξης των επιφανειών των δρόμων σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE) ομαδοποιεί τις διάφορες επιφάνειες ανάλογα με την τιμή του κατοπτρικού συντελεστή 81, όπως αυτός ορίζεται στη δημοσίευσης της CIE **CIE 66-1984: Road Surfaces and Lighting**. Επιφάνειες δρόμου με τιμές μικρότερες του 0.4 ανήκουν στην πρώτη κλάση (CI), ενώ οι επιφάνειες με τιμές ίσες ή μεγαλύτερες από 0.4 ανήκουν στη δεύτερη κλάση (CII). Οι πρότυποι πίνακες ανάκλασης των δύο κλάσεων δίνονται στον Πίνακα 3.2: Τιμές συντελεστή ανάκλασης r κλάσης CI σύμφωνα με τις συστάσεις των CIE/PIARC και στον Πίνακα 3.3: Τιμές συντελεστή ανάκλασης r κλάσης C2 σύμφωνα με τις συστάσεις των CIE/PIARC που παρατίθενται παρακάτω.

Προσαρμογή (Adaptation).

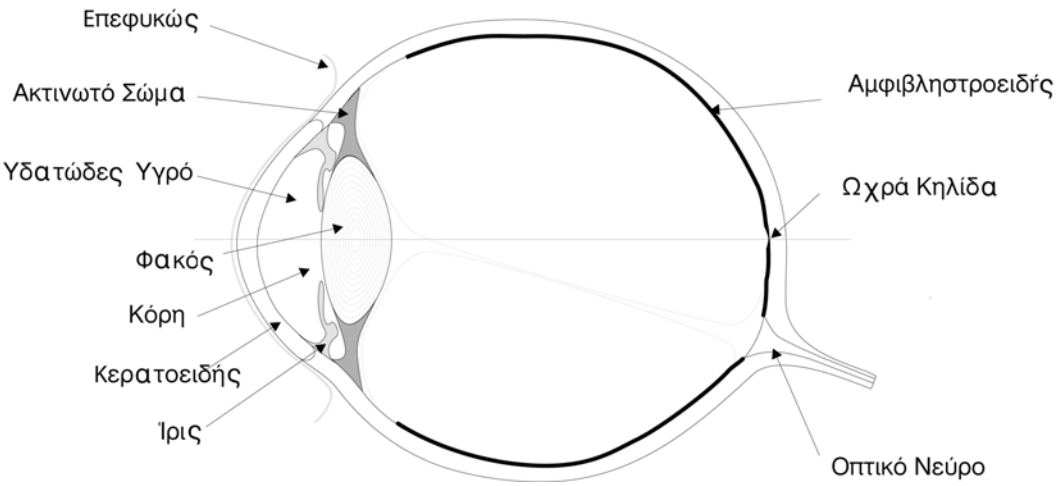
Είναι η διαδικασία κατά την οποία η ευαισθησία του αμφιβληστροειδούς χιτώνα του ματιού προσαρμόζεται σε περισσότερο ή λιγότερο φως από αυτό στο οποίο ήταν προσαρμοσμένο το αμέσως προηγούμενο διάστημα.

ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΜΑΤΙ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΦΩΤΙΣΜΟ

Η ταχύτητα με την οποία ένα αυτοκίνητο μπορεί να κινείται ασφαλέστερα, προσδιορίζεται εξ ολοκλήρου από τις πληροφορίες, που μπορεί να προμηθευτεί γρήγορα ο αυτοκινητιστής από το περιβάλλον του. Στη συγκέντρωση αυτών των πληροφοριών ο πιο βασικός παράγοντας είναι η ορατότητα. Είναι η μόνη έννοια με την οποία ο αυτοκινητιστής μπορεί να ανιχνεύσει και να διακρίνει εμπόδια και αντικείμενα για να καθορίσει την πορεία του οχήματος. Γι' αυτό και ένα ποσοστό των πληροφοριών εξαρτάται από τις συνθήκες φωτισμού. Τα εμπόδια και τα αντικείμενα πρέπει να είναι ορατά σε τέτοια απόσταση, έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν κάποιοι ελιγμοί με ικανοποιητικό τρόπο από την πλευρά του αυτοκινητιστή. Από τη στιγμή, που η ικανότητα του να βλέπει εξαρτάται από τις συνθήκες φωτισμού, που υπόκεινται στις ξαφνικές αλλαγές φωτεινότητας, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της ημέρας ένα μεγάλο ποσοστό της ικανότητας αυτής εξαρτάται από την ευαισθησία του ματιού. Πριν θεσπιστούν κριτήρια για τη σχεδίαση φωτισμού μιας σήραγγας είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η συμπεριφορά του ανθρώπινου ματιού

Η λειτουργία του ματιού

Το ανθρώπινο μάτι περιέχει ένα πολύ μεγάλο αριθμό οργάνων, οπτικών κυττάρων, τα οποία ερεθίζονται από το φως. Τα όργανα αυτά ονομάζονται ραβδία και κωνία και βρίσκονται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα.



Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας βρίσκεται στο πίσω μέρος του ματιού και πάνω σ' αυτό εμφανίζεται το είδωλο της εικόνας, που με τη βοήθεια του οπτικού νεύρου μεταφέρεται στον εγκέφαλο.

Στο μπροστινό μέρος του ματιού υπάρχει ένα κυκλικό διάφραγμα που ονομάζεται ίριδα. Η ίριδα στο κέντρο της έχει μια οπή, την κόρη, που έχει την ιδιότητα να μεταβάλει την διάμετρο της με την βοήθεια μυών. Πίσω από την ίριδα υπάρχει

ένας αμφίκυρτος φακός που μπορεί να μεταβάλει την εστιακή απόσταση του και ονομάζεται κρυσταλοειδής φακός.

Το μάτι λειτουργεί σαν φωτογραφικός θάλαμος. Η κόρη έχει το ρόλο του διαφράγματος και ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού επιτρέπει σε κατάλληλη ποσότητα φωτός να εισέλθει στο μάτι. Ο κρυσταλοειδής φακός συγκεντρώνει τις φωτεινές ακτίνες και σχηματίζει ένα ευκρινές είδωλο πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα που έχει το ρόλο της φωτογραφικής πλάκας. Η ρύθμιση του φακού και της κόρης γίνεται αυτόματα.

Η ίριδα που κάνει τις απαιτούμενες κινήσεις για να εξασφαλίσει την κατάλληλη διάμετρο της κόρης έχει ένα ιδιαίτερα επίπονο ρόλο. Κακός φωτισμός υποχρεώνει τους μύες που ελέγχουν την διάμετρο της κόρης σε συνεχή κίνηση, κάτι που προκαλεί την πολύ γρήγορη κούραση τους με αποτέλεσμα την δημιουργία άσχημων συναισθημάτων. Έτσι η σωστή κατανομή λαμπροτήτων στο χώρο και η κατάλληλη ένταση φωτισμού είναι απαραίτητες για την αποφυγή της συνεχούς ταλαιπωρίας των ματιών.

Για λαμπρότητες της τάξης των 0,001 cd/m^2 η λειτουργία της όρασης γίνεται με τη βοήθεια του συστήματος των ραβδίων. Για στάθμες λαμπροτήτων από 0,001 έως 3 cd/m^2 συμμετέχουν αμφότερα τα ραβδία και τα κωνία , ενώ για στάθμες άνω των 3 cd/m^2 η λειτουργία πραγματοποιείται μόνο με την βοήθεια των κωνίων.

Η όραση με την βοήθεια των ραβδίων ονομάζεται σκοτοπική ενώ η όραση με την βοήθεια των κωνίων φωτοπική. **Η μετάβαση από σκοτοπική όραση σε φωτοπική γίνεται ταχύτατα. Αντίθετα η μετάβαση από φωτοπική σε σκοτοπική απαιτεί χρόνο της τάξης των 30 sec**. Αυτός ο χρόνος είναι που δημιουργεί την ανάγκη να λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπόψη η ανάγκη για βαθμιαία και όχι απότομη ελάττωση της στάθμης λαμπρότητας στους δρόμους και κυρίως στις σήραγγες.

Η διαδικασία κατά την οποία ο αμφιβληστροειδής χιτώνας του ματιού προσαρμόζεται σε περισσότερο ή λιγότερο φως σε δεδομένο χρονικό διάστημα ονομάζεται **προσαρμογή (adaptation)**. Η λαμπρότητα που προκαλεί αυτή τη κατάσταση προσαρμογής ονομάζεται «επίπεδο» προσαρμογής. Ο χρόνος που είναι απαραίτητος για να ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία καλείται χρόνος προσαρμογής.

Οποιαδήποτε αλλαγή στο φωτισμό προσαρμογής δημιουργεί μία αλλαγή στις φωτοχημικές ουσίες του χιτώνα, του ματιού, προς ένα νέο επίπεδο ισορροπίας. Παρατηρείται κάποιος χρόνος καθυστέρησης πριν ο αμφιβληστροειδής φτάσει τη μέγιστη ευαισθησία του για το δοθέν επίπεδο προσαρμογής.

Φωτισμός ως παράμετρος οδικής ασφάλειας

Όπως προαναφέρθηκε, κύριος στόχος του οδικού φωτισμού είναι η βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφάλειας και κατά συνέπεια η μείωση του αριθμού των οδικών ατυχημάτων, των θανάτων και των τραυματιών από αυτά.

Κατά την κυκλοφορία των οχημάτων με μεγάλες ταχύτητες η ζωή των επιβατών των οχημάτων εξαρτάται από την καλή ορατότητα, η οποία θα εξασφαλίσει στον οδηγό τη δυνατότητα να αντιληφθεί έγκαιρα τυχόν εμπόδια και θα μπορέσει να αντιδράσει και να κάνει τους απαιτούμενους ελιγμούς για να τα αποφύγει. Η καλή ορατότητα κατά τη νύχτα μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση ικανοποιητικού τεχνητού φωτισμού.

Ένα συμπέρασμα μιας σειράς μελετών είναι ότι ο συνολικός αριθμός των ατυχημάτων αλλά και η σοβαρότητα αυτών μειώνεται με τη βελτίωση του τεχνητού φωτισμού. Έτσι, πολλές μελέτες ατυχημάτων "πριν και μετά" (before-after studies) τη βελτίωση του οδικού φωτισμού έχουν δείξει ότι η βελτίωση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας. Για παράδειγμα σε μία έρευνα (P.P.Scott) η οποία εξέτασε τις επιδράσεις της μετατροπής της ποιότητας του φωτισμού σε στεγνές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μια αύξηση στη μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος κατά 1 cd/m^2 είχε ως αποτέλεσμα μία μείωση κατά 35% στο λόγο των ατυχημάτων κατά τη νύχτα προς τον αριθμό των ατυχημάτων κατά την ημέρα. Παρόμοιες μελέτες στη Μ. Βρετανία δείχνουν ότι με την εγκατάσταση οδικού φωτισμού επέρχεται μείωση στα ατυχήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας κατά 30%. Όσον αφορά στις ελεύθερες λεωφόρους, αποτελέσματα σχετικών μελετών δείχνουν ότι σε περιοχές όπου απαιτούνται πολύπλοκοι χειρισμοί και συγκεντρώνονται υψηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι η επιρροή του φωτισμού στην οδική ασφάλεια είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Όσον αφορά στα ατυχήματα σε σήραγγες, δεν υπάρχει βιβλιογραφία σχετική με μείωση των ατυχημάτων σε σήραγγες εξαιτίας της βελτίωσης του φωτισμού τους. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του μικρού αριθμού ατυχημάτων σε σήραγγες, καθώς αυτές αναλογούν σε ένα μικρό ποσοστό του οδικού δικτύου, και τις διαφοροποιήσεις των χαρακτηριστικών ορατότητας και γεωμετρίας των σηράγγων. Μία σχετική έρευνα προτείνει ότι με την τακτική συντήρηση της εγκατάστασης φωτισμού θα μειωθεί ο αριθμός των ατυχημάτων κατά την ημέρα.

Μια έρευνα που έχει γίνει πρόσφατα αναφέρει ότι ο κίνδυνος ατυχήματος στην είσοδο της σήραγγας είναι **5** φορές υψηλότερος από ότι στο εσωτερικό της, γιατί ο οδηγός έχει τη δυσκολία της προσαρμογής, ειδικά τις έντονες φωτεινές ώρες της ημέρας. Η ιστορία δείχνει ότι οι είσοδοι των σηράγγων υπόκεινται σε περισσότερα ατυχήματα από οποιαδήποτε άλλη ζώνη στη σήραγγα

Από το 1940 οκτώ σοβαρά ατυχήματα έχουν αναφερθεί σε σήραγγες. Τα πιο πρόσφατα ατυχήματα που έχουν συμβεί είναι το 1999 στη σήραγγα Mont Blanc μεταξύ Γαλλίας και Ιταλίας η οποία ύστερα από μια πυρκαγιά στοίχισε τη ζωή 39 ανθρώπων και τον Οκτώβριο του 2001 στη σήραγγα ST Gotthard στην οποία δύο φορτηγά συγκρούστηκαν μετωπικά με αποτέλεσμα να χάσουν τη ζωή τους 11 άνθρωποι.

Είναι συχνά αδύνατο για τους ανακριτές ατυχημάτων να ανακαλύψουν τον αρχικό λόγο για τον οποίο συνέβησαν αυτές οι καταστροφές.

Μια αιτία που συμβάλει σημαντικά είναι η κούραση και ο αποπροσανατολισμός που οδηγούν σε λανθασμένο χειρισμό των οχημάτων, ώστε αυτά να προσκρούουν είτε στο τοίχο της σήραγγας είτε σε άλλα οχήματα.

Ειδικά για τους ηλικιωμένους οδηγούς και για τις γυναίκες, η οδήγηση μέσω των σηράγγων είναι μια ιδιαίτερα δυσάρεστη εμπειρία. Σε αρμονία με το ολοένα αυξανόμενο μήκος των σηράγγων γίνεται σαφές πόσο σημαντικός είναι ο παράγοντας Φωτισμός για τις σήραγγες.

Πίνακας 3.2:

Τιμές συντελεστή ανάκλασης r κλάσης CI σύμφωνα με τις συστάσεις των CIE/PIARC.

γ \ β	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	470	470	470	470	470	470	470	470	470	329	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470
0.25	517	511	530	520	530	527	517	510	501	470	497	486	469	446	427	420	426	411	417	401
0.5	541	526	536	533	524	513	500	486	469	499	437	400	380	356	339	339	330	330	324	336
0.75	543	536	540	521	501	477	450	421	393	453	341	311	283	254	250	251	251	241	250	251
1	531	536	531	506	450	396	347	316	293	366	259	217	191	186	179	177	179	184	183	183
1.25	536	533	503	454	379	316	270	237	214	274	179	153	130	133	130	130	126	134	139	139
1.5	506	503	480	387	304	243	200	173	156	194	124	109	96	93	94	94	96	97	101	101
1.75	476	467	431	317	237	184	149	129	107	139	90	76	73	70	70	67	74	73	76	77
2	454	443	380	257	173	129	107	89	77	97	69	57	57	54	54	54	59	59	61	64
2.5	383	374	293	170	103	71	59	51	47	71	37	36	33	34	36	34	37	39	41	40
3	324	310	210	106	60	41	36	33	30	41	26	23	23	24	26	24	27	30	30	33
3.5	277	240	151	67	43	31	24	20	19	27	17	16	14	16	17	19	21	20	21	20
4	240	194	109	49	27	20	19	16	14	17	14	11	11	13	14	13	16	17	16	19
4.5	201	159	77	30	20	16	13	11	11	14	11	10	10	11	11	11	11	14	14	16
5	180	129	61	24	14	11	11	10	9	11	10	9	10	9	9	10	11	11	11	13
5.5	153	113	46	17	11	10	10	10	9	9										
6	134	93	37	14	10	9	9	9	7	7										
6.5	123	80	30	11	10	9	7	7												
7	111	71	24	10	7	7	7	7												
7.5	100	59	20	10	6	4	6													
8	90	53	16	7	6	6	6													
8.5	86	53	14	7	6	6	6													
9	80	46	13	7	6	4														
9.5	76	40	13	6	6	6														
10	74	39	10	7	6	4														
10.5	64	33	10	6	4	4														
11	61	31	10	4	4	4														
11.5	76	31	10	4	4															
12	60	29	10	6	4															

Standard reflection table C2 – Class CII – Qo = 0.10

Πίνακας 3.3:

Τιμές συντελεστή ανάκλασης r κλάσης C2 σύμφωνα με τις συστάσεις των CIE/PIARC.

γ \ β	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329
0.25	362	358	371	364	371	369	362	357	351	349	348	340	328	312	299	294	298	288	292	281
0.5	379	368	375	373	367	359	350	340	328	317	306	280	266	249	237	237	231	231	227	235
0.75	380	375	378	365	351	334	315	295	275	256	239	218	198	178	175	176	176	169	175	176
1	372	375	372	354	315	277	243	221	205	192	181	152	134	130	125	124	125	129	128	128
1.25	375	373	352	318	265	221	189	166	150	136	125	107	91	93	91	91	88	94	97	97
1.5	354	352	336	271	213	170	140	121	109	97	87	76	67	65	66	66	67	68	71	71
1.75	333	327	302	222	166	129	104	90	75	68	63	53	51	49	49	47	52	51	53	54
2	318	310	266	180	121	90	75	62	54	50	48	40	40	38	38	38	41	41	43	45
2.5	268	262	205	119	72	50	41	36	33	29	26	25	23	24	25	24	26	27	29	28
3	227	217	147	74	42	29	25	23	21	19	18	16	16	17	18	17	19	21	21	23
3.5	194	168	106	47	30	22	17	14	13	12	12	11	10	11	12	13	15	14	185	14
4	168	136	76	34	19	14	13	11	10	10	10	8	8	9	10	9	11	12	11	13
4.5	141	111	54	21	14	11	9	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	10	10	11
5	126	90	43	17	10	8	8	7	6	6	7	6	7	6	6	7	8	8	8	9
5.5	107	79	32	12	8	7	7	7	6	5										
6	94	65	26	10	7	6	6	6	5											
6.5	86	56	21	8	7	6	5	5												
7	78	50	17	7	5	5	5	5												
7.5	70	41	14	7	4	3	4													
8	63	37	11	5	4	4	4													
8.5	60	37	10	5	4	4	4													
9	56	32	9	5	4	3														
9.5	53	28	9	4	4	4														
10	52	27	7	5	4	3														
10.5	45	23	7	4	3	3														
11	43	22	7	3	3	3														
11.5	53	22	7	3	3															
12	42	20	7	4	3															

Standard reflection table C2 – Class CII – Qo = 0.07

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΛΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σωστός φωτισμός δεν είναι πολυτέλεια αλλά αναγκαιότητα τόσο κοινωνική όσο και οικονομική αφού η ευχαρίστηση, η άνεση , η παραγωγικότητα και η ασφάλεια του ανθρώπου βελτιώνονται με το σωστό φωτισμό.

- Παράγοντες που πρέπει να λάβει υπόψη ο μελετητής φωτισμού είναι:

α) Τις φυσιολογικές απαιτήσεις του ατόμου που καθορίζουν:
- Η στάθμη φωτισμού
- Η θάμβωση
- Η κατανομή της λαμπρότητας στο χώρο

β) Τη ψυχολογική διάθεση του ατόμου που επηρεάζουν:
- Η θερμοκρασία χρώματος
- Η χρωματική απόδοση των λαμπτήρων

γ) Την οικονομία που καθορίζουν:
- Η εκλογή της σωστής στάθμης φωτισμού
- Η εκλογή του σωστού είδους φωτισμού
- Η εκλογή των κατάλληλων λαμπτήρων και φωτιστικών σωμάτων

- Τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται πρέπει:

α) Να έχουν ευχάριστο σχήμα και να εναρμονίζονται προς τη μορφή του χώρου.
β) Να διατηρούν τη θερμοκρασία κοντά στους λαμπτήρες και τα όργανα λειτουργίας τους σε χαμηλά επίπεδα.
γ) Να διανέμουν κατάλληλα τη φωτεινή ροή του λαμπτήρα
δ) Να είναι προσιτά για συντήρηση και καθαρισμό.

4.2 Οικονομία στις εγκαταστάσεις φωτισμού

Με την εφαρμογή σωστών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό, μπορεί να επιτευχθεί οικονομία μέχρι 40%.

4.2.1 Οικονομία στο στάδιο αρχικής εγκατάστασης

α. Εκλογή του τύπου λαμπτήρα

Η εκλογή του τύπου λαμπτήρα γίνεται με κριτήρια:

- Το δείκτη χρωματικής απόδοσης Ra
- Τη θερμοκρασία χρώματος (° K)
- Τη φωτιστική απόδοση (lm/W)
- Το κόστος αγοράς και εγκαταστάσεως λαμβάνοντας συγχρόνως υπόψη και το χρόνο ζωής.

β. Εκλογή του φωτιστικού σώματος

Εξετάζεται το κόστος αγοράς σε συνάρτηση με:
- Την απόδοση του φωτιστικού
- Τη στεγανότητα του σε σκόνη
- Τη ποιότητα των υλικών και εξαρτημάτων που φέρει, γιατί φτηνά υλικά κοστίζουν περισσότερο στη πράξη.

Να σημειωθεί ότι σημασία στη σύγκριση εγκαταστάσεων φωτισμού έχει το κόστος ενός lux και όχι μονομερώς το κόστος λαμπτήρων ή φωτιστικών . Η έννοια του κόστους ενός lux λαμβάνει υπόψη και την οικονομικότητα της λειτουργίας της εγκατάστασης.

4.2.2 Οικονομία κατά το στάδιο εκμετάλλευσης

Είναι γνωστό ότι η απόδοση μιας εγκατάστασης μειώνεται με την πάροδο του χρόνου είτε από γήρανση των λαμπτήρων, είτε από ρύπανση λαμπτήρων και επιφανειών ανακλάσεως του χώρου (τοίχοι, οροφή).
Για τους παραπάνω λόγους πρέπει:

α) Ο χώρος να φρεσκάρεται τακτικά.

β) Να γίνεται προγραμματισμένη αντικατάσταση των λαμπτήρων σε χρόνο περίπου ίσο ή λιγότερο του ονομαστικού τους χρόνου ζωής. Έτσι θα λειτουργούν οι λαμπτήρες οικονομικά και δεν θα διαταράσσεται η εργασία καθημερινά από αντικαταστάσεις καμένων λαμπτήρων, (χρόνος ζωής λαμπτήρων: πυράκτωσης 1000h, φθορισμού 10.000h).

Οικονομία επίσης επιτυγχάνεται με:
- Διατήρηση της στάθμης φωτισμού όχι πιο πάνω από ότι απαιτεί ο χώρος και η φύση της εργασίας που γίνεται σ' αυτόν.
- Σβήσιμο των φώτων όταν δεν χρειάζονται ή λειτουργία κατά ζώνες εργασίας.
- Εκμετάλλευση του ηλιακού φωτός με ταυτόχρονη προσαρμογή της εγκατάστασης φωτισμού στη κατάλληλη στάθμη φωτισμού (μείωση της στάθμης φωτισμού τις ηλιόλουστες μέρες με χρησιμοποίηση dimmers ή όταν γίνεται βοηθητική εργασία, καθάρισμα κλπ.).
- Εγκατάσταση χρονοδιακοπτών για το αυτόματο σβήσιμο των φώτων.

4.3 Οικονομικοκοινωνικά πλεονεκτήματα του σωστού φωτισμού

Οικονομία στο φωτισμό δεν σημαίνει μείωση της στάθμης φωτισμού συνεπώς και της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά την απολαβή οικονομικών και κοινωνικών ωφελειών με το σωστό για κάθε εργασία φωτισμό.
Μ' ένα σωστό φωτισμό στους χώρους παραγωγής έχουμε:

- Μεγάλη απόδοση των εργαζομένων(δεν επέρχεται πρόωρη κόπωση).
- Τα προϊόντα παράγονται σωστά (δεν εμφανίζουν ατέλειες).
- Προλαμβάνονται ατυχήματα.

4.4 Βασικές απαιτήσεις απόδοσης του φωτισμού

4.4.1 Οπτική αντίληψη και βασικές αρχές φωτισμού

Ένα σύστημα φωτισμού πρέπει να δημιουργεί τις σωστές συνθήκες για καλό οπτικό αποτέλεσμα, δηλαδή σαφή και γρήγορο προσδιορισμό της μορφής, της κίνησης, της απόστασης και του χρώματος.
Το οπτικό αποτέλεσμα για ένα δεδομένο αντικείμενο, που θα φωτιστεί, εξαρτάται από:

- Την λαμπρότητα του αντικειμένου.
- Την λαμπρότητα του φόντου του αντικειμένου.
- Τον περιορισμό της απευθείας και της ανακλώμενης θάμβωσης.
- Τις ιδιότητες της χρωματικής απόδοσης του φωτισμού
  (αν το αντικείμενου περιλαμβάνει χρωματική διαφοροποίηση).

4.4.2 Λαμπρότητα και Φωτεινή Ροή

Στην πράξη η οπτική αντίληψη τείνει να βελτιώσει, με δεδομένο το πραγματικό μέγεθος του προς φωτισμό αντικειμένου, την αντίθεση του φόντου και το μέσο επίπεδο λαμπρότητας του οπτικού πεδίου.

Επειδή δεν είναι δυνατό να αλλάξει το μέγεθος των ορατών αντικειμένων, το οπτικό θέμα μπορεί να είναι πιο ευδιάκριτο αν αυξηθεί το μέγεθος κρίσιμων λεπτομερειών (π.χ το μέγεθος των επιγραφών στις ταμπέλες), και αν χρησιμοποιούνται φωτεινά χρώματα σε σκούρο φόντο (π.χ κίτρινες μπάρες). Σε δεδομένη κατάσταση η μέση λαμπρότητα εξαρτάται απ' το σύστημα φωτισμού που χρησιμοποιείται.

Είναι κανόνας ότι η μελέτη φωτισμού πρέπει να βασίζεται στις λαμπρότητες, αλλά στην πράξη δεν είναι δυνατό να γίνεται αυτό. Σε πολλές περιπτώσεις η χρήση της έντασης φωτισμού σαν κριτήριο για το φωτισμό χώρων είναι πιο κατάλληλη, αφού οι άνθρωποι δεν έχουν σαφή αντίληψη του οπτικού πεδίου (όπως σε συνθήκες κυκλοφορίας οχημάτων).

Όταν χρησιμοποιούνται κριτήρια έντασης φωτισμού σαν βάση για τη μελέτη, πρέπει να χρησιμοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται επαρκή επίπεδα λαμπρότητας.

Συνήθως η ένταση φωτισμού δίνεται σε οριζόντιο επίπεδο, αλλά συχνά είναι πιο σημαντική η κάθετη συνιστώσα. Επομένως όταν σχεδιάζεται ο φωτισμός, η αμοιβαία σημασία της οριζόντιας και κάθετης έντασης φωτισμού, καθώς και η κατεύθυνση του φωτός πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

4.4.3 Περιορισμός θάμβωσης

Η θάμβωση εμφανίζεται λόγω ακατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας ή υπερβολικής λαμπρότητας που δημιουργεί αντίθεση στο χώρο. Έτσι, στις εγκαταστάσεις φωτισμού πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για τον περιορισμό της θάμβωσης.

Σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν στη θάμβωση είναι η επιλογή του τύπου των φωτιστικών, το ύψος ανάρτησης αυτών, η κατεύθυνση της δέσμης φωτός, και η λαμπρότητα του φόντου.,

4.4.4 Χρωματική όψη και χρωματική απόδοση των λαμπτήρων

Η χρωματική απόδοση των φωτεινών πηγών χαρακτηρίζονται από δύο ιδιότητες, την χρωματική όψη του φωτός και τον δείκτη χρωματικής απόδοσης,

Η χρωματική όψη του φωτός μπορεί να περιγραφεί από την θερμοκρασία χρώματος του φωτός.

Στους φωτιζόμενους χώρους η χρωματική διάκριση δεν είναι τόσο σημαντική, αλλά η χρωματική όψη του φωτός είναι ένας σημαντικός παράγοντας για ψυχολογικούς λόγους.

4.5 Εξοπλισμός φωτισμού

Πρέπει να δοθεί προσοχή να γίνει επιλογή του σωστού συνδυασμού λαμπτήρων, φωτιστικών και ανάρτησης αυτών, ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις για σωστό φωτισμό.

4.6 Κριτήρια επιλογής φωτεινών πηγών

Η επιλογή των φωτεινών πηγών πρέπει να βασίζεται στην αμοιβαία σημασία των ακόλουθων κριτηρίων:

- **Φωτεινή Ροή (Lumen, lm)**

Ο αριθμός των φωτιστικών που απαιτούνται για μια εγκατάσταση εξαρτάται κυρίως απ' τη φωτεινή ροή που εκπέμπεται απ' τους λαμπτήρες, από την απόδοση του συστήματος, την απαιτούμενη φωτεινότητα και το λόγο ομοιομορφίας.

- **Φωτιστική απόδοση (lm/W)**

Αυτή είναι η σχέση μεταξύ της φωτεινής ροής του λαμπτήρα και της ισχύς που αυτός καταναλώνει. Αυτό το κριτήριο είναι πολύ σημαντικό, λόγω της επίδρασης του στην ενεργειακή κατανάλωση και στα τρέχοντα έξοδα του φωτισμού. Ωστόσο στην πράξη, η φωτιστική απόδοση του συνολικού συστήματος πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερή ζημία.

- **Λαμπρότητα (των Φωτιστικών και των Λαμπτήρων, cd/m^2)**

Αυτή η ιδιότητα μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση στη θάμβωση, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται χαμηλά ύψη ανάρτησης των φωτιστικών.

- **Θερμοκρασία χρώματος(Kelvin, K)**

Η θερμοκρασία χρώματος του φωτός που εκπέμπεται από ένα λαμπτήρα δίνει μια ένδειξη της χρωματικής όψης του λαμπτήρα. Φωτεινές πηγές με θερμοκρασία χρώματος πάνω από 300°K δίνουν μια "θερμή" εντύπωση, 4.000°K ουδέτερη εντύπωση, και πάνω από 5.000°K ψυχρή εντύπωση. Ωστόσο, η θερμοκρασία χρώματος δεν δίνει πληροφορίες για τις χρωματικές αντανακλαστικές ιδιότητες του λαμπτήρα,

- **Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης (Ra)**

Ο δείκτης αυτός καθορίζει την ποιότητα των χρωματικών αντανακλαστικών ιδιοτήτων του φωτός που εκπέμπεται από ένα λαμπτήρα σε σύγκριση με μία άλλη πηγή φωτός που θεωρείται πρότυπη. Υπάρχουν δύο σειρές από πρότυπες φωτεινές πηγές. Για φωτεινές πηγές με θερμοκρασία χρώματος κάτω από 5.000° K χρησιμοποιείται ο ακτινοπομπός Planckian, ενώ για πηγές με θερμοκρασία χρώματος πάνω από 5.000° K , η C.I.E. επανέφερε σαν πηγή αναφοράς το φως της ημέρας. Αν ο λαμπτήρας που μελετάται έχει τις ίδιες αντανακλαστικές ιδιότητες με την φωτεινή πηγή αναφοράς τότε ο δείκτης έχει τιμή Ra=100.

4.7 Διάρκεια ζωής λαμπτήρα

Μια και η αντικατάσταση των λαμπτήρων είναι πολλές φορές δύσκολη και δαπανηρή, προτιμούνται οι λαμπτήρες μακράς διάρκειας ζωής.

Χρόνος έναυσης και χρόνος επανέναυσης.

Ο απαιτούμενος χρόνος έναυσης είναι το διάστημα μεταξύ της έναρξης λειτουργίας του λαμπτήρα μέχρι το 80% της τελικής φωτεινής ροής του.

Μετά από προσωρινή απώλεια ενέργειας ή μεγάλη πτώση τάσης, έχουμε αναπόφευκτη σβέση των λαμπτήρων εκκένωσης μέσω αερίων, και πρέπει να περάσει κάποιος χρόνος ώστε να είναι δυνατή η επανέναυση. Για λόγους ασφάλειας πρέπει να απαιτείται εναλλακτικός φωτισμός κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος ή να χρησιμοποιηθεί κατάλληλος εξοπλισμός ώστε να παρέχεται άμεση επανέναυση.

Εξωτερικοί παράγοντες όπως οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να επηρεάσουν την έναυση και την απόδοση των λαμπτήρων. Άλλος παράγοντας είναι οι κραδασμοί, παράγοντας που μπορεί να ελαττώσει τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων.

4.8 Υπολογισμός απαιτούμενων λαμπτήρων και φωτιστικών σωμάτων

Ο υπολογισμός της φωτεινής ροής που απαιτείται ώστε το οδόστρωμα να φωτίζεται με μέση λαμπρότητα L_{av} γίνεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$\Phi_{\alpha\pi\alpha\iota\tau\ .} = \frac{L_{av\ .}S_{.}w}{Q_{0.}\sigma_{.}n}(lm)$$

Όπου: **L_{av}** = το επίπεδο λαμπρότητας που έχει υπολογιστεί.

S = το μήκος της σήραγγας στο οποίο το επίπεδο φωτισμού έχει υπολογιστεί L_{av} .

w = το πλάτος του δρόμου.

Q_0 = ο συντελεστής ανάκλασης του οδοστρώματος.

σ = ο συντελεστής συντήρησης.

n = ο συντελεστής χρησιμοποίησης.

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης εκφράζει ποσοστιαία, το ωφέλιμο ποσοστό της φωτεινής ροής που φτάνει στο επίπεδο εργασίας του υπό μελέτη χώρου, για το

συγκεκριμένο τύπο φωτιστικού σώματος και τα συγκεκριμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του χώρου.

Ο απαιτούμενος αριθμός λαμπτήρων που θα παρέχει την απαιτούμενη για το φωτισμό του οδοστρώματος φωτεινή ροή $\mathbf{\Phi_{απαιτ.}}$ δίνεται από τον τύπο:

$$\Lambda = \frac{\Phi_{\alpha\pi\alpha\iota\tau.}}{\Phi_{\lambda}}$$

όπου $\mathbf{\Phi_{\lambda}}$ η παρεχόμενη φωτεινή ροή του λαμπτήρα που δίνεται από τον κατασκευαστή.

Ο συνολικός αριθμός **N** των φωτιστικών σωμάτων αυτού του τμήματος της σήραγγας με βάση τον αριθμό **v** των λαμπτήρων που θα περιέχει το καθένα από αυτά θα είναι:

$$N = \frac{\Lambda}{\nu}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

5.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ

Ο φωτισμός δρόμων πρέπει να επιτρέπει στους οδηγούς και πεζούς να κυκλοφορούν με ασφάλεια και άνεση τη νύχτα. Οι οδηγοί πρέπει να εντοπίζουν έγκαιρα και με ακρίβεια τα όρια του δρόμου και τα εμπόδια ή τα ιδιάζοντα σημεία του δρόμου (όπως είναι η ενδεχόμενη ύπαρξη πεζών ή άλλων αυτοκινήτων) χωρίς τη χρήση φανών πορείας ή διασταυρώσεως. Για τον πεζό προέχουν η ορατότητα των εμποδίων, των αυτοκινήτων, των άκρων των πεζοδρομίων καθώς και η απουσία μεγάλων σκοτεινών κηλίδων. Είναι απαραίτητη επίσης η καλή ορατότητα και το ευανάγνωστο των πινακίδων σηματοδότησης (αυτό επιτυγχάνεται με τοπικό φωτισμό). Οι σκοποί αυτοί μπορούν να επιτευχθούν στο μέτρο των οικονομικών δυνατοτήτων.

Είναι αυτονόητο ότι διαφορετικά θα φωτιστούν μία διασταύρωση εθνικών δρόμων και μία διασταύρωση δύο αστικών δρόμων. Πρέπει λοιπόν να διαιρέσουμε το φωτισμό των δρόμων σε κατηγορίες:

Κατηγορία Δρόμου	Είδος και Πυκνότητα Κυκλοφορίας	Είδος Δρόμου	Παράδειγμα
A	Οποιαδήποτε πυκνότητα και μεγάλη ταχύτητα κυκλοφορίας	Δρόμος με διαχωριστική νησίδα χωρίς επίπεδο μόνο ανισόπεδες διασταυρώσεις, τελείως κλειστός εκατέρωθεν και χωρίς πεζούς	Αυτοκινητόδρομος Κορίνθου-Πατρών
B	Οποιαδήποτε πυκνότητα και μεγάλη ταχύτητα κυκλοφορίας	Κύριοι Δρόμοι αποκλειστικά για οχήματα με πιθανή ύπαρξη λωρίδων για βαρέα οχήματα μικρή πιθανότητα ύπαρξης πεζών	Αυτοκινητόδρομος Αθηνών-Λαμίας
C	Μεγάλη Πυκνότητα κυκλοφορίας ταχύτητες μέχρι 70 Km/h	Δρόμοι εντός και εκτός πόλεων πολλαπλής χρήσης	Περιφερειακοί Δακτύλιοι των πόλεων. Είσοδοι πόλεων
D	Μεσαία ως μεγάλη πυκνότητα Κυκλοφορίας διαφόρων τύπων οχημάτων.	Δρόμοι σε κατοικημένες περιοχές	Κύριοι δρόμοι πόλεων
E	Χαμηλή Πυκνότητα κυκλοφορίας κάθε είδους οχημάτων και πεζών	Προαστιακοί δρόμοι και δρόμοι μεταξύ συγκροτημάτων κατοικιών	

Πίνακας 5.1

Τα θεμελιώδη κριτήρια για καλή εφαρμογή οδικού φωτισμού είναι:

- Η Μέση Λαμπρότητα $\mathbf{L_{av}}$ (cd/m^2).
- Η Ομοιομορφία Λαμπρότητας $\mathbf{U_o}$.
- Ο Περιορισμός της Θάμβωσης **G**.
- Ο Φωτισμός του περιβάλλοντα χώρου.
- Η Οπτική καθοδήγηση.

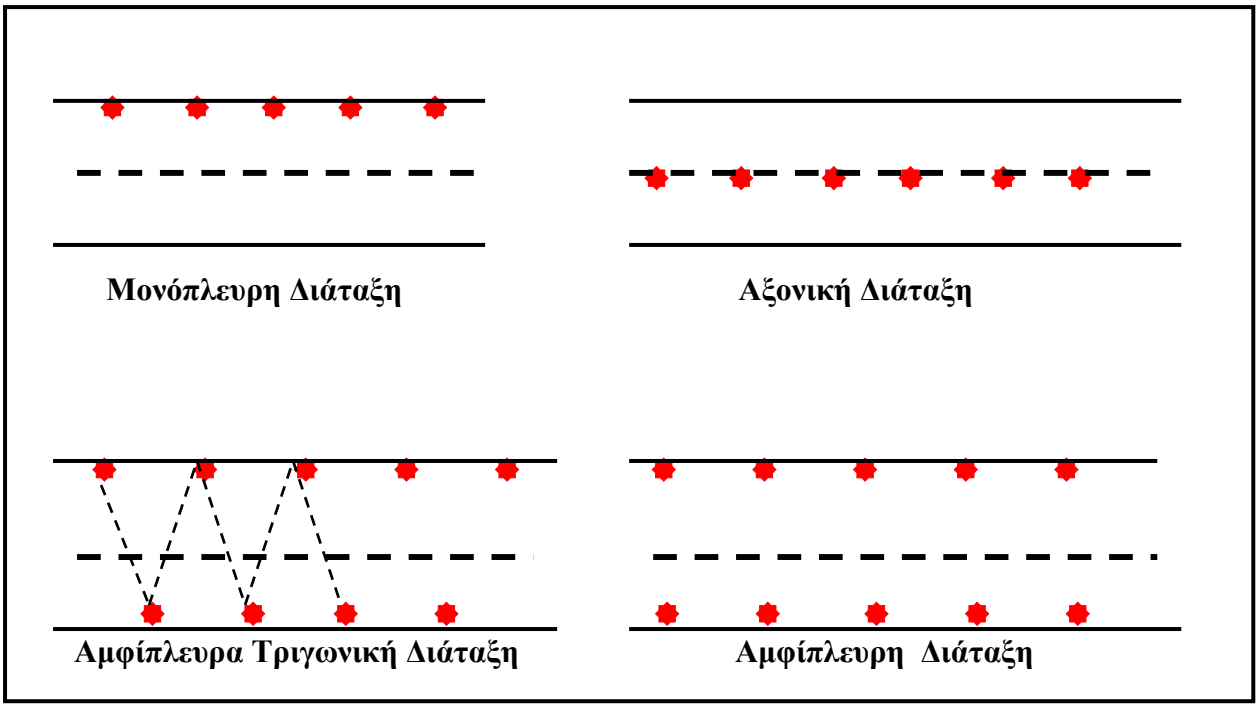
Παρακάτω δίνονται οι τιμές που πρέπει να πληρούν οι παράμετροι αυτοί για κάθε κατηγορία δρόμου.

Κατηγορία	Μέση λαμπρότητα L_{av} (cd/m^2)	Γενικός Συντελεστής Ομοιομορφίας $U_o \geq$	Συντελεστής Διαμήκους Ομοιομορφίας $U_l \geq$	Θάμβωση G≥	Συντελεστής Προσαύξησης του Κατωφλίου Λαμπρότητας T1<
A	2	0.4	0.7	6	10
B	2	0.4	0.7	6	10
C	2	0.4	0.5	6	20
D	2	0.4	0.5	5	20
E	1	0.4	0.5	4	20

Πίνακας 5.2

5.2 Διατάξεις Φωτιστικών Σωμάτων

Διακρίνουμε τέσσερα είδη διατάξεως και στηρίξεως των φωτιστικών σωμάτων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.1

Η <u>μονόπλευρη διάταξη</u> επιτρέπει να φωτιστεί περισσότερο η μία πλευρά του δρόμου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δρόμο που έχει μικρό πλάτος ή που παρουσιάζει μία ασυμμετρία όπως:

- Κυκλοφορία μόνιμα μεγαλύτερη από τη μία πλευρά
- Κυκλοφορία προς τη μία μόνο κατεύθυνση (μονόδρομος).

- Καμπυλότητα του φωτισμένου τμήματος (στην περίπτωση αυτή συνίσταται η τοποθέτηση φωτιστικών σωμάτων στην πλευρά με τη μεγαλύτερη ακτίνα).
- Παρουσία δέντρων από τη μία πλευρά του δρόμου.

Άλλοι επίσης παράγοντες όπως η αισθητική ή η ευκολία τοποθέτησης μπορούν να οδηγήσουν στην εκλογή της διάταξης αυτής.

Η αξονική διάταξη παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

- Ο άνεμος προκαλεί την κίνηση των φωτιστικών σωμάτων στην περίπτωση που δεν είναι στερεωμένα.
- Οι εργασίες συντήρησης δυσχεραίνουν την κυκλοφορία.
- Προσελκύει τους οδηγούς στο κέντρο του δρόμου.

Επομένως χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχουν επιτακτικοί λόγοι τοποθέτησης στον άξονα (δέντρα ή εμπόδια στα άκρα).

Στην αμφίπλευρη τριγωνική διάταξη τα φωτιστικά σώματα είναι υπολογισμένα έτσι ώστε καθένα από αυτά να φωτίζει όλο το πλάτος του δρόμου. Η χρήση της απαιτεί αυστηρό έλεγχο της ομοιομορφίας της λαμπρότητας για να μην δημιουργείται η εικόνα φωτεινών κηλίδων σε σκοτεινό κυματισμό.

Στην αμφίπλευρη διάταξη τα σώματα είναι τοποθετημένα στις δύο πλευρές του δρόμου, γενικά το ένα απέναντι απ' το άλλο και υπολογισμένα έτσι ώστε το κάθε ένα να φωτίζει το μισό πλάτος του δρόμου. Συνίσταται για δρόμους μεγάλου πλάτους.

Στους διπλούς δρόμους χρησιμοποιούνται συνήθως η αξονική και αμφίπλευρη διάταξη. Σημειώνεται ότι πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση της μίας πλευράς στην άλλη. Επίσης είναι δυνατή η χρησιμοποίηση φωτιστικών σωμάτων κάθετα στον άξονα του δρόμου, στα άκρα, στη νησίδα ή και στα δύο, καθώς και φωτιστικών σωμάτων παράλληλων προς τον άξονα πάνω στη νησίδα.

5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

5.3.1 Τύποι συστημάτων φωτισμού

Το φως που παράγεται από τους λαμπτήρες μπορεί να κατευθυνθεί προς το οδόστρωμα με δύο διαφορετικού τρόπους:

α) Με κατανομή ακτινοβολιών σε μία κατεύθυνση (unidirectional)
β) Με κατανομή ακτινοβολιών σε δύο κατευθύνσεις (bidirectional)

Ειδικότερα, σχετικά με τα παραπάνω αναφέρονται τα εξής:

α) Συστήματα φωτισμού κατανομής ακτινοβολιών σε μία κατεύθυνση

Αυτά μπορούν: α) να έχουν την ίδια κατεύθυνση με την κίνηση των οχημάτων ή β) να κατευθύνονται αντίθετα από αυτήν, με κατεύθυνση προς τον οδηγό. Όταν η κατεύθυνση ακτινοβολιών και κίνησης οχημάτων είναι ίδια, όλα τα αντικείμενα εμφανίζονται στον οδηγό φωτεινά σε ένα σκοτεινό περιβάλλον. Επιπροσθέτως, η

χρήση των προβολέων των οχημάτων αυξάνει την ορατότητα, καθώς τα αντικείμενα εμφανίζονται ακόμη πιο φωτεινά σε σχέση με το περιβάλλον τους. Αυτό το σύστημα όμως έχει τα παρακάτω μειονεκτήματα:

- Ο συντελεστής ανάκλασης της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι αρκετά χαμηλός, με αποτέλεσμα να μην παράγεται αποτελεσματικό επίπεδο λαμπρότητας.

- Η χρήση ακτινοβολίας σε υψηλές κατακόρυφες γωνίες στο σύστημα αυτό, για να επιτρέπει μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων, δεν προσφέρει οφέλη στην παραγωγή λαμπρότητας.

- Σε περιπτώσεις που η κατανομή αυτή χρησιμοποιεί πολύ δυνατή ένταση ακτινοβολίας (candela) λαμβάνει χώρα ένα φαινόμενο, κατά το οποίο το εσωτερικό του οχήματος φωτίζεται σε υψηλό επίπεδο, δημιουργώντας μία ενοχλητική λάμψη.

- Ένα τέτοιο σύστημα φωτισμού είναι αποτελεσματικό, όταν το φως δεν επιδρά στους οδηγούς της αντίθετης κατεύθυνσης.

Αντίθετα, στο σύστημα μονής κατεύθυνσης της ακτινοβολίας προς τον οδηγό, ο συντελεστής ανάκλασης της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι κατά πολύ υψηλότερος από αυτόν του προαναφερθέντος συστήματος. Επίσης, αυξάνοντας την κατακόρυφη γωνία ακτινοβολίας επιτυγχάνεται πιο αποτελεσματική παραγωγή λαμπρότητας. Έτσι, για κατακόρυφη γωνία ακτινοβολίας 80° η δυνατότητα παραγωγής λαμπρότητας είναι 10 φορές μεγαλύτερη της αντίστοιχης του συστήματος με κατεύθυνση ίδια με αυτή της κίνησης των οχημάτων. Παρόλη την αποδοτικότητα του συστήματος αυτού στην παραγωγή λαμπρότητας το σύστημα έχει τα εξής μειονεκτήματα:

- Όταν οι κατακόρυφες γωνίες ακτινοβολίας γίνουν μεγάλες δημιουργείται θάμβωση, η οποία είναι απαγορευτική για τη χρήση του.

- Κάτω από σταθερό φωτισμό όλα τα αντικείμενα παρουσιάζονται σκοτεινά σε φωτεινό φόντο.

- Όταν ένα αντικείμενο βρίσκεται στη λειτουργική εμβέλεια των προβολέων των οχημάτων εξαφανίζεται εξαιτίας της εξίσωσης της λαμπρότητας του με αυτή του περιβάλλοντος του και στη συνέχεια εμφανίζεται ξανά, καθώς οι προβολείς το καθιστούν πάλι φωτεινότερο του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται ορατό.

β) Συστήματα κατανομής ακτινοβολιών σε δύο κατευθύνσεις.

Αυτά διαχωρίζονται σε **συμμετρικά συστήματα** (symmetric lighting) και **ασύμμετρα συστήματα** (asymmetric lighting). Η διάκριση μεταξύ των δύο συστημάτων σε σχέση με το συντελεστή αντίθεσης προκύπτει από τον **Πίνακα 5.3**: Χαρακτηριστικά των συστημάτων φωτισμού που ακολουθεί.

Σύστημα Φωτισμού	Συντελεστής αντίθεσης $q_c=L/E_v$[1]
Συμμετρικό σύστημα	≤0.2
Ασύμμετρο σύστημα	≥0.6

Πίνακας 5.3: **Χαρακτηριστικά των συστημάτων φωτισμού.**

Τα συστήματα **συμμετρικού φωτισμού** μπορούν να θεωρηθούν ως συμβατικός φωτισμός. Υπάρχει μία σημαντική διεθνής εμπειρία για αυτόν τον τύπο κατανομής και είναι στις περισσότερες χώρες το προτιμότερο σύστημα φωτισμού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με όλους τους τύπους λαμπτήρων.

Στο συμμετρικό φωτισμό το φως κατευθύνεται με την ίδια ποσότητα τόσο στην κατεύθυνση της ροής των οχημάτων όσο και στην αντίθετη κατεύθυνση (Σχήμα 5.3), με αποτέλεσμα η λαμπρότητα του δρόμου να είναι ίδια προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και αν κινείται ο οδηγός. Έτσι, αυτός ο φωτισμός ταιριάζει για κυκλοφοριακές ροές είτε μιας κατεύθυνσης, είτε δύο κατευθύνσεων.

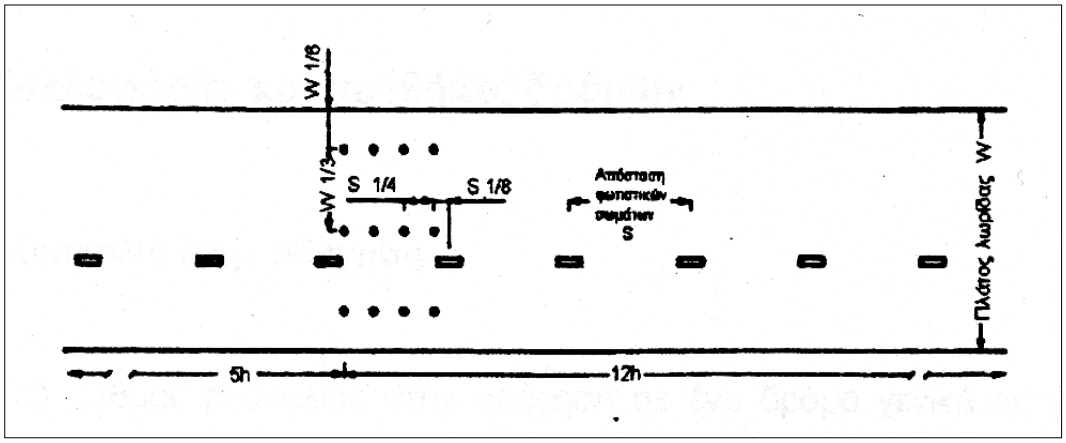
Ανάλογα με την ανακλαστικότητα του αντικειμένου που βρίσκεται μπροστά, αυτό γίνεται ορατό είτε ως ένα σκοτεινό αντικείμενο σε ένα φωτεινό περιβάλλον (αρνητική αντίθεση), είτε ως φωτεινό αντικείμενο σε σκοτεινό περιβάλλον (θετική αντίθεση). Παρόλα αυτά αντικείμενα με ανακλαστικότητα που κυμαίνεται από 0.35 - 0.45 χαρακτηρίζονται από μία αντίθεση μεταξύ των τιμών -0.2 - +0.2, οι οποίες είναι κάτω από την κρίσιμη τιμή αντίθεσης για την ορατότητα. Σε αυτήν την περίπτωση το αντικείμενο είναι διακριτό στο περιβάλλον λαμπρότητας του οδοστρώματος. Στην πράξη τα αντικείμενα είναι πιο πολύπλοκα, με καμπύλες, διαφορετική υφή και γυαλιστερές επιφάνειες. Κάτω από αυτές τις πραγματικές συνθήκες είναι πιθανό τουλάχιστον ένα τμήμα του αντικειμένου να έχει επαρκή αντίθεση λαμπρότητας για να γίνει ορατό από τον οδηγό.

Τα **ασύμμετρα συστήματα** μπορούν να χωρισθούν σε αυτά που η κύρια δέσμη ακτινοβολιών κατευθύνεται προς τον οδηγό (counterbeam lighting) και σε αυτά που η κύρια δέσμη έχει την ίδια κατεύθυνση με αυτήν της κυκλοφορίας (pro-beam lighting) (Σχήματα 5.4 και 5.5). Συνήθως με τη χρήση του όρου ασύμμετρος εννοούμε το φωτισμό κατά τον οποίο το φως κατευθύνεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην αντίθετη προς την ροή των οχημάτων κατεύθυνση. Η μέθοδος αυτή φωτισμού προέρχεται από την Ελβετία και χρησιμοποιείται συχνά στη Γερμανία, Αυστρία, Ιταλία, Γαλλία και Ολλανδία λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων που το χαρακτηρίζουν.

Ο βαθμός ασυμμετρίας του συστήματος φωτισμού, σε αυτό τον οδηγό, ορίζεται από την ελάχιστη τιμή του λόγου L/E_v που παίρνουμε πάνω από ένα κανονικό πλέγμα. Η κατακόρυφη λαμπρότητα αναφέρεται σε επίπεδα 0,1m πάνω από το οδόστρωμα με φορά προς τους οδηγούς. Το κανονικό πλέγμα ορίζεται από 12 σημεία για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας, τρία κατά πλάτος της λωρίδας και τέσσερα κατά μήκος, μεταξύ δύο συνεχόμενων φωτιστικών σωμάτων (βλέπε σχήμα 5.2). Για τον υπολογισμό του λόγου L/E_v ο αριθμός των φωτιστικών σωμάτων που

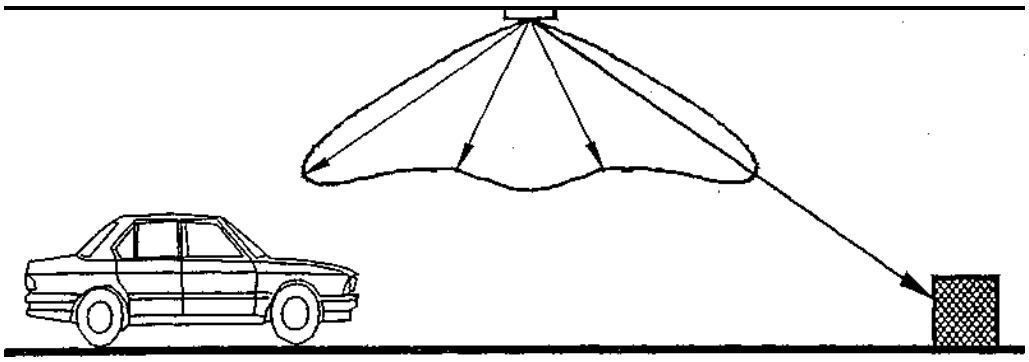
[1] Οι φωτομετρικές τιμές L και E_V που λαμβάνονται θα πρέπει να έχουν σχέση αποκλειστικά με τεχνητό φωτισμό.

λαμβάνονται υπόψη καθορίζεται από μία περιοχή 5 φορές το ύψος στήριξης των φωτιστικών μπροστά και 12 φορές πίσω από κάθε σημείο υπολογισμού. Για τον υπολογισμό των κατακόρυφων λαμπροτήτων είναι σημαντικό να λαμβάνουμε υπόψη και τις άμεσες και τις έμμεσες συνεισφορές.



Σχήμα 5.2 **Πλέγμα και φωτιστικά σώματα που λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό του λόγου L/E_v του συστήματος φωτισμού της σήραγγας**.

w = Πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας. **s** = Απόσταση μεταξύ δύο συνεχόμενων φωτιστικών σωμάτων. **h** = Ύψος στήριξης των φωτιστικών σωμάτων.



Σχήμα 5.3 **Συμμετρικό σύστημα φωτισμού**

Τα συμμετρικά συστήματα χαρακτηρίζονται από ένα συντελεστή αντίθεσης λαμπρότητας περίπου **0.2** (Πίνακας 5.3) ή λιγότερο όταν η επιφάνεια του δρόμου είναι μαύρη άσφαλτος.

- Κάνει καλύτερη χρήση των προνομιακών δυνατοτήτων ανάκλασης της επιφάνειας του δρόμου και της διαθέσιμης απόδοσης των λαμπτήρων, με αποτέλεσμα η λαμπρότητα του οδοστρώματος να είναι διπλάσια από αυτή που δίνει το συμμετρικό σύστημα.
- Καθώς ο κατακόρυφος φωτισμός της πρόσοψης του αντικειμένου πίσω από το φωτιστικό είναι σημαντικά χαμηλότερος από αυτόν του συμμετρικού συστήματος, αυξάνεται η αντίθεση μεταξύ του αντικειμένου και του

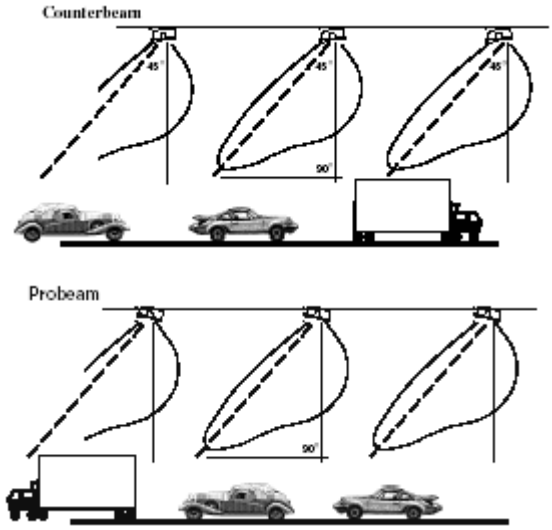
οδοστρώματος.

- Βασικό χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος φωτισμού είναι ότι τα αντικείμενα, ανεξάρτητα από την ανακλαστικότητά τους, είναι ορατά πάντα ως σκοτεινά αντικείμενα μέσα σε φωτεινό περιβάλλον. Για το λόγο αυτό τα φωτιστικά ασύμμετρου φωτισμού είναι γνωστά και σαν φωτιστικά αρνητικής αντίθεσης λαμπρότητας. Τα συστήματα αυτά έχουν τυπικά έναν συντελεστή αντίθεσης λαμπρότητας τουλάχιστον 0.6.

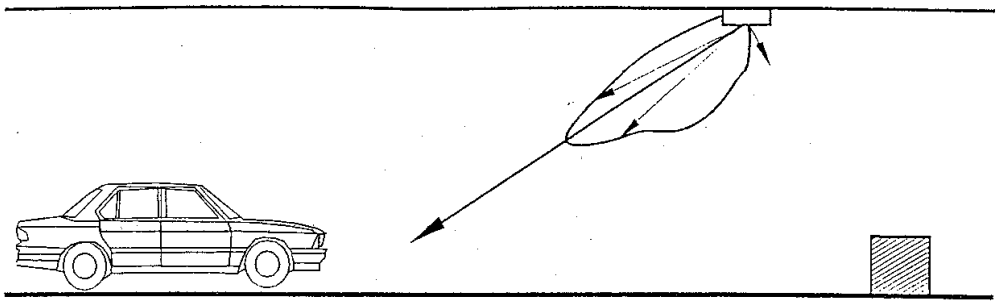
Ο φωτισμός με ακτινοβολίες με διεύθυνση αυτήν της κυκλοφορίας, probeam lighting, είναι το αντίθετο σύστημα από αυτό του counterbeam lighting. Πειράματα με αυτήν την τεχνική φωτισμού που διενεργήθηκαν στον Καναδά οδήγησαν σε αποτελέσματα υψηλότερων τιμών αντίθεσης λαμπρότητας τόσο από το συμμετρικό σύστημα όσο και από το ασύμμετρο σύστημα με ακτίνες προς τον οδηγό .

Από μια συνολική συγκριτική θεώρηση του ασύμμετρου και του συμμετρικού φωτισμού εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τα ανακλαστικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του δρόμου προσφέρουν τη μέγιστη λαμπρότητα για τον ασύμμετρο φωτισμό για ίσο οριζόντιο φωτισμό.
- Η οπτική καθοδήγηση, δηλαδή τα μέσα με τα οποία υποδεικνύεται η πορεία της διεύθυνσης του δρόμου, είναι καλύτερη για τον ασύμμετρο φωτισμό, καθώς οι πηγές του φωτός είναι πιο εμφανείς.
- Ο ασύμμετρος φωτισμός προκαλεί μεγαλύτερο κίνδυνο θάμβωσης.
- Ο συμμετρικός φωτισμός επιτυγχάνει καλύτερη ομοιομορφία της λαμπρότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος.
- Στο συμμετρικό φωτισμό απαιτούνται περισσότεροι λαμπτήρες και συνεπώς πιο περίπλοκα συστήματα τροφοδότησης και ελέγχου, καθώς και μεγαλύτερο κόστος συντήρησης.
- Το ασύμμετρο σύστημα φωτισμού αποδείχθηκε πιο οικονομικό όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, καθώς επιτρέπει τη χρήση λαμπτήρων μικρότερης ροής.



Σχήμα 5.4 **Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού (Counterbeam και probeam lighting).**



Σχήμα 5.5 **Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού (Counterbeam lighting).**

Στον παρακάτω Πίνακα 5.3: Συστήματα φωτισμού και μέσες Λαμπρότητες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μίας έρευνας για τα συστήματα φωτισμού, όπου δίνονται οι μέσες λαμπρότητες οδοστρώματος που παράγονται από λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου 400W, 50.000 lumen και συντελεστή συντήρησης 1.

Πίνακας 5.3: **Συστήματα φωτισμού και μέσες Λαμπρότητες**

Τύπος κατανομής	**Μέση λαμπρότητα (cd/m^2)**
Κατανομή σε δύο κατευθύνσεις (με συμμετρία)	
50°V beam (75°L)	1.93
55°V beam (75 ^{o}L)	1.98
65°V beam (75 ^{o}L)	2.04
70°V beam (75 ^{o}L)	2.27
72°V beam (75 ^{o}L)	2.49
60°L beam (67-1/2°V)	1.59
67.5^{o}L beam (67-1/2°V)	1.82
50°V beam (67-1/2°V)	2.15
50°V beam (67-1/2°V)	2.71
Κατανομή σε μία κατεύθυνση	
Κατεύθυνση αυτή της κυκλοφορίας	
55° V beam	1.02
80° V beam	0.91
Κατεύθυνση αντίθετη της κυκλοφορίας	
55° V beam	4.33
80° V beam	9.30
Ασύμμετρη κατανομή (55°V)	
Κατεύθυνση αυτή της κυκλοφορίας	0.95
Κατεύθυνση αντίθετη της κυκλοφορίας	2.84

5.4 Σύστημα ελέγχου του φωτισμού

Ο έλεγχος του συστήματος φωτισμού είναι απαραίτητος για τη διασφάλιση των πλεονεκτημάτων που απορρέουν από ένα αποτελεσματικό σύστημα φωτισμού, καθώς ένα σύστημα ελέγχου μπορεί να επιτύχει τη μείωση του επιπέδου του φωτισμού ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες φωτισμού, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια και μειώνοντας το κόστος λειτουργίας.

Ένα σύστημα ελέγχου μπορεί να αποτελείται από φωτοκύτταρα, φωτοαισθητήρες τοποθετημένους στα κατάλληλα σημεία μέτρησης της λαμπρότητας (π.χ. στην είσοδο των σηράγγων) και από ένα σύστημα αυξομείωσης του φωτισμού (dimming). Ανάλογα με τις τιμές λαμπρότητας ή φωτισμού που καταγράφουν οι αισθητήρες το σύστημα ελέγχου αυξάνει ή μειώνει τα επίπεδα φωτισμού σε διάφορα στάδια.

Τα τελευταία χρόνια η αναγκαιότητα ενός συστήματος ελέγχου του φωτισμού είναι μεγάλη για την προσαρμογή του επιπέδου φωτισμού στα κυκλοφοριακά δεδομένα του δικτύου. Παλιότερα αυτή η προσαρμογή επιτυγχανόταν με το σβήσιμο ενός αριθμού λαμπτήρων μετά από μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, έργο το οποίο ήταν εύκολο όταν χρησιμοποιούνταν δύο φωτιστικά σώματα σε κάθε ιστό. Η εγκατάσταση όμως τέτοιου είδους δεν ήταν αποδοτική, καθώς με το σβήσιμο κάθε δεύτερου λαμπτήρα (σβήσιμο λαμπτήρων εναλλάξ) ο φωτισμός γινόταν άνισος και σε περίπτωση αστοχίας ενός λαμπτήρα θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα μεγάλο κενό φωτός. Στις σημερινές συνθήκες με την τεχνική του " dimming" σε μία εγκατάσταση φωτισμού μπορεί να αυξομειωθεί ο φωτισμός ανάλογα με τις ανάγκες που διαμορφώνονται από τα δεδομένα καιρικών συνθηκών και κυκλοφορίας. Έτσι είναι δυνατή η παροχή πλήρους φωτισμού όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μεγάλος και κοντά στην κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού και η μείωση της παροχής φωτισμού όταν μειώνεται η πυκνότητα της κυκλοφορίας .

Το σύστημα ελέγχου του φωτισμού είναι απαραίτητο και στην περίπτωση φωτισμού μιας σήραγγας, όπου τα επίπεδα λαμπρότητας στο εσωτερικό της εξαρτώνται άμεσα από τη λαμπρότητα έξω από αυτήν. Έτσι όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια και στο κεφάλαιο του φωτισμού των σηράγγων, με ένα σύστημα ελέγχου μεταβάλλεται το επίπεδο φωτισμού προσαρμοζόμενο τόσο στις καιρικές συνθήκες που μεταβάλλουν τη λαμπρότητα έξω από τη σήραγγα, όσο και στα διαφορετικά επίπεδα φωτισμού που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Το σύστημα ελέγχου επιτυγχάνει έτσι μία ομαλή μεταβολή των επιπέδων λαμπρότητας, με αποτέλεσμα την αύξηση της ασφάλειας, τη βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής και την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους λειτουργίας.

Σε μία μελέτη της Federal Highway Administration (FHWA) ερευνήθηκαν διάφορες τεχνικές μείωσης του φωτισμού, στην οποία επιλέχθηκαν για υπολογισμό οι παρακάτω έξι συνθήκες φωτισμού:

- Πλήρης φωτισμός
- Μείωση στο 30% του φωτισμού
- Μείωση στο 50% του φωτισμού
- Σβήσιμο κάθε δεύτερου λαμπτήρα (εναλλάξ)
- Σβήσιμο των λαμπτήρων της μίας πλευράς του δρόμου
- Χωρίς φωτισμό

Πραγματοποιήθηκαν τρία πιλοτικά πειράματα για τον υπολογισμό της επίδρασης των έξι συνθηκών φωτισμού στη λειτουργία της κυκλοφορίας και στην ασφάλεια. Αυτά περιλάμβαναν ένα πείραμα για τον υπολογισμό της επίδρασης των οριακών συνθηκών φωτισμού (πλήρης - μηδενικός φωτισμός) στην επίδοση των οδηγών σε δύσκολες γεωμετρικά θέσεις (ράμπες ισόπεδων και ανισόπεδων διασταυρώσεων), ένα πείραμα σε ελεγχόμενο πεδίο για τον υπολογισμό της επίδρασης των συνθηκών φωτισμού σε μία γεωμετρία ενός κύριου άξονα και ένα πείραμα παρατήρησης για τον έλεγχο των αντιδράσεων ενός φυσικού οδηγού, που δεν προειδοποιήθηκε, κάτω από τρεις επιλεγμένες συνθήκες φωτισμού.

Το αποτελέσματα των παραπάνω πειραμάτων έδειξαν ότι η επίδοση του

οδηγού μειώνεται με τη μείωση του φωτισμού πολύ περισσότερο στις ράμπες των διασταυρώσεων παρά σε κύρια τμήματα της οδού, γεγονός που δείχνει ότι ο έλεγχος του φωτισμού στις διασταυρώσεις είναι ιδιαίτερα κρίσιμος.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.4** τα αποτελέσματα του πειράματος σε ελεγχόμενο πεδίο. Από τη θεώρηση του πίνακα προκύπτει ότι η καλύτερη επίδοση αναγνώρισης επιτεύχθηκε κάτω από πλήρη φωτισμό και ακολουθούν η ομοιόμορφη μείωση στο 75%, η ομοιόμορφη μείωση στο 50% και το σβήσιμο των λαμπτήρων εναλλάξ. Όσον αφορά την υποκειμενική βαθμολόγηση της ορατότητας από τους συμμετέχοντες ο πλήρης φωτισμός απέσπασε την καλύτερη βαθμολογία και ακολουθούν οι υπόλοιπες συνθήκες φωτισμού.

Πίνακας 5.4**: Αποτελέσματα του πειράματος σε ελεγχόμενο πεδίο**

	Δεδομένα συμπεριφοράς		Υποκειμενικά δεδομένα	
	Απόσταση αναγνώρισης του αντικειμένου		Ορατότητα αντικειμένου (*)	
Συνθήκες φωτισμού	**Μέσος (m)**	**Τυπική απόκλιση (m)**	**Μέσος (m)**	**Τυπική Απόκλιση (m)**
Πλήρης φωτισμός	87.8	58.04	7.9	2.1
75%	70.9	38.06	7.1	2.1
50%	68.26	29.58	7.3	2.1
Σβήσιμο εναλλάξ	62.46	28.21	6.8	2.3
Σβήσιμο μιας πλευράς	49.84	22.51	6.3	2.7
Χωρίς φωτισμό	49.77	13.45	7.0	2.8
(*) στη βαθμολόγηση της ορατότητας του αντικειμένου: 1 = πολύ φτωχή, 10 = πολύ καλή				

Τα αποτελέσματα του πειράματος της παρατήρησης των αντιδράσεων των οδηγών παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.5**: Αποτελέσματα παρατήρησης των αντιδράσεων των οδηγών. Από τα δεδομένα αυτού του πίνακα είναι εμφανές ότι για σχεδόν ίδιες ταχύτητες κυκλοφορίας των οχημάτων οι συνθήκες φωτισμού επηρεάζουν την ορατότητα αντικειμένων η οποία εδώ γίνεται αντιληπτή με τον αριθμό των αντιδράσεων των οδηγών στη θέα του αντικειμένου. Όπως ήταν αναμενόμενο οι περισσότερες αντιδράσεις των οδηγών (φρενάρισμα ή αλλαγή λωρίδας) εμφανίζονται στον πλήρη φωτισμό και οι λιγότερες στο μηδενικό φωτισμό.

Πίνακας 5.5: **Αποτελέσματα παρατήρησης των αντιδράσεων των οδηγών**

Συνθήκες φωτισμού	**Μέγεθος δείγματος**	**Συνολικές αντιδράσεις(*)**		**Μέση ταχύτητα**
		Αριθμός	**Ποσοστό**	**Km/h**
Πλήρης φωτισμός	72	13	18	92.8
Ομοιόμορφη μείωση 50%	69	9	13	94.4
Χωρίς φωτισμό	71	5	7	89.6
(*) φρενάρισμα ή αλλαγή λωρίδας				

Τέλος, στον **Πίνακα 5.6**: Απαιτήσεις εξοπλισμού και εργασίας που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο εξοπλισμός και οι εργασίες που απαιτούνται για κάθε τεχνική μείωση του φωτισμού.

Πίνακας 5.6 **Απαιτήσεις εξοπλισμού και εργασίας**

Τεχνική	Εξοπλισμός	Εργασία	Παρατηρήσεις
Σβήσιμο όλων των λαμπτήρων μετά τα μεσάνυχτα	Φωτοκύτταρο χρονοδιακόπτης	Αντικατάσταση του φωτοκύτταρου με φωτοκύτταρο χρονοδιακόπτη	Αυτόματη έναρξη μετά από αστοχία ενέργειας
	Σύστημα μέτρησης χρόνου, καλωδίωση, ερμάριο	Εγκατάσταση	Χειροκίνητη έναρξη
Σβήσιμο των λαμπτήρων εναλλάξ μετά τα μεσάνυχτα	Φωτοκύτταρο, χρονοδιακόπτης, ερμάριο, καλωδίωση	Διαχωρισμός κυκλωμάτων, πρόσθεση φωτοκύτταρων	Άνισος χρόνος αστοχίας λαμπτήρων
	Σύστημα μέτρησης χρόνου, καλωδίωση, ερμάριο	Διαχωρισμός κυκλωμάτων, πρόσθεση φωτοκύτταρων	Χειροκίνητη έναρξη
Σβήσιμο των λαμπτήρων της μιας πλευράς μετά τα μεσάνυχτα	Φωτοκύτταρο/ χρονοδιακόπτης, ερμάριο, καλωδίωση	Διαχωρισμός κυκλωμάτων, πρόσθεση φωτοκύτταρων	Άνισος χρόνος αστοχίας των λαμπτήρων
	Σύστημα μέτρησης χρόνου, καλωδίωση, ερμάριο	Διαχωρισμός κυκλωμάτων, πρόσθεση χρόνομετρητή	Χειροκίνητη έναρξη
Φωτιστικό με δύο (2) λαμπτήρες, ο ένας σβηστός μετά τα μεσάνυχτα	Δύο φωτιστικά σώματα, χρονοδιακόπτης και σχέδιο κυκλώματος	Εγκατάσταση φωτιστικών και επιπρόσθετης καλωδίωσης	Διαφορετικά κυκλώματα για κάθε φωτιστικό
Προκαθορισμένη μείωση φωτισμού	Φωτοκύτταρο, χρονοδιακόπτης, κουτί ελέγχου, ερμάριο, καλωδίωση	Αντικατάσταση φωτοκύτταρων, πρόσθεση κουτιού ελέγχου, ερμαρίου και καλωδίωσης	Ο χρονομετρητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως χρονοδιακόπτης
Μείωση φωτισμού εξαρτώμενη από τον όγκο κυκλοφορίας και την ώρα	Επαγωγικές αντιδράσεις τάσης, κυκλώματα μείωσης, έλεγχος με υπολογιστή, καλωδίωση	Αντικατάσταση επαγωγικών αντιδράσεων τάσης, πρόσθεση Η/Υ και αισθητήρα κυκλοφορίας	Ευρύ σύστημα επαγωγικών αντιδράσεων τάσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΤΑ C.I.E. 88-1990

6.1 Σκοπός και απαιτήσεις φωτισμού σηράγγων

Σκοπός του φωτισμού σήραγγας είναι να εξασφαλίσει ότι τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και τη νύχτα, τα οχήματα θα πλησιάσουν, θα διασχίσουν και θα βγουν από τη σήραγγα, με τη σχεδιασμένη ταχύτητα, άνεση και ασφάλεια που θα είχαν σε έναν ανοιχτό δρόμο.

Αυτό επιτυγχάνεται, πρώτον με σαφείς πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση του δρόμου και την παρουσία τυχόν εμποδίων συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων και της κίνησης αυτών, και δεύτερον οι οδηγοί να αισθάνονται, όσον αφορά το οπτικό πεδίο, την ίδια άνεση όπως και σε έναν ανοιχτό δρόμο.

Σε αντίθεση με το φωτισμό των οδών <u>ο φωτισμός της σήραγγας είναι περισσότερο κρίσιμος κατά τη διάρκεια της ημέρας</u>, καθώς το οπτικό σύστημα του ανθρώπου δεν μπορεί αυτόματα να αναγνωρίζει τις διάφορες λεπτομέρειες στο χώρο κάτω από επίπεδα φωτεινότητας τόσο διαφορετικά. Πιο συγκεκριμένα σε φωτεινές ημέρες υπάρχει μία μεγάλη διαφορά μεταξύ του επιπέδου της εξωτερικής και της εσωτερικής λαμπρότητας της τάξεως του 100 προς 1, γεγονός που απαιτεί από τον οδηγό ένα σημαντικό οπτικό έργο για την προσαρμογή του ματιού του σε αυτές τις ξαφνικές και μεγάλες αλλαγές φωτός. Έτσι, ένα σύστημα φωτισμού μιας σήραγγας απαιτείται να λειτουργεί στο μέγιστο του κατά τη διάρκεια της ημέρας και να αντιδρά προοδευτικά στις αλλαγές των επιπέδων του φωτός του εξωτερικού περιβάλλοντος της σήραγγας ώστε να εξασφαλίζει την προσέγγιση, την είσοδο και τη διέλευση από τη σήραγγα στην ταχύτητα σχεδιασμού με ένα βαθμό άνεσης όχι μικρότερο από αυτό που υπάρχει κατά μήκος των τμημάτων του ανοιχτού δρόμου. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, ο φωτισμός της σήραγγας καλείται να μειώσει σημαντικά την διαφορά μεταξύ των επιπέδων λαμπρότητας έξω και μέσα στη σήραγγα, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο στον οδηγό επαρκές χρονικό διάστημα το οποίο εξαρτάται από τη διαφορά αυτή ώστε να προσαρμοστεί στο περιβάλλον της σήραγγας. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των επιπέδων λαμπρότητας τόσο μεγαλύτερη απόσταση απαιτείται ώστε το οπτικό σύστημα του οδηγού να είναι σε θέση να μειώσει την ευαισθησία. Οι καλές συνθήκες ορατότητας που πρέπει να δημιουργηθούν στην είσοδο της σήραγγας εξαρτώνται τόσο από την επαρκή αντίθεση λαμπρότητας μεταξύ αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνονται ορατά, αλλά όσο και από την παροχή σημαντικά υψηλής λαμπρότητας του δρόμου στην είσοδο για την αντιστάθμιση του φαινομένου της μαύρης τρύπας.

Τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά μιας εγκατάστασης φωτισμού, τα οποία έχουν μεγάλη σημασία και πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

- Τα επίπεδα λαμπρότητας του δρόμου και του κάτω τμημάτων των τοιχωμάτων της σήραγγας.
- Η ομοιομορφία της κατανομής της λαμπρότητας στο δρόμο.
- Ο έλεγχος της θάμβωσης.
- Η αποφυγή της φωτεινής πάλμωσης.

Οι υποδείξεις που δίνονται σ' αυτές τις προδιαγραφές για τα επίπεδα λαμπρότητας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σαν οι ελάχιστες διατηρούμενες τιμές. Προκειμένου να μην υποτιμήσουμε αυτές τις τιμές, πρέπει να συμπεριλάβουμε έναν συντελεστή συντήρησης κατάλληλο για τις επικρατούσες συνθήκες κάθε φορά.

Η εφαρμογή των υποδείξεων, που δίνονται σ' αυτό τον οδηγό, θα έχει σαν αποτέλεσμα την εκπλήρωση όλων των βασικών στόχων μιας εγκατάστασης φωτισμού, για όλα σχεδόν τα πρακτικά προβλήματα.

6.2 Ταξινόμηση σηράγγων

Βασική ταξινόμηση των σηράγγων είναι σε δύο κατηγορίες:

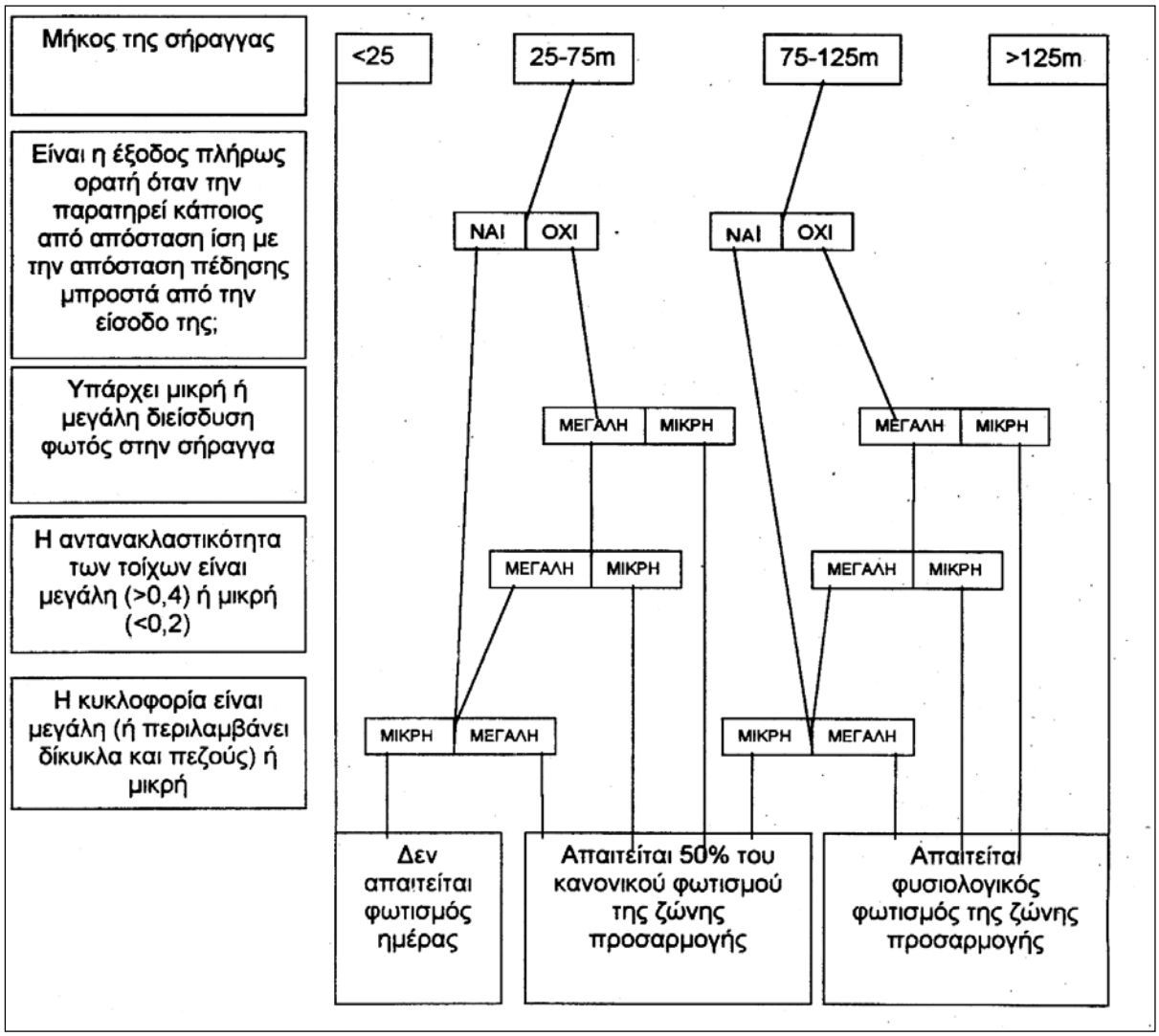
(1) Μακριά σήραγγα.
(2) Κοντή σήραγγα.

Μία σήραγγα λέγεται μακριά (μακρύ τούνελ) όταν ανεξάρτητα από το μέγεθος της η έξοδος της και το αμέσως μετά από αυτή τμήμα του δρόμου δεν είναι ορατά με τις κανονικές συνθήκες κυκλοφορίας, από ένα σημείο κοντά στην είσοδο. Μία σήραγγα που δεν είναι μακριά λέγεται κοντή. Στη κοντή σήραγγα από τη ζώνη προσέγγισης είναι ορατά τα εμπόδια στην έξοδο κατά την ημέρα.

Ανάλογα με το αν μία σήραγγα είναι μακριά ή κοντή καθορίζεται και η απαίτηση για φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Γενικά μία σήραγγα ή υπόγεια διάβαση δεν απαιτεί επιπλέον φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας αν η έξοδος καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος του πεδίου όρασης, από απόσταση ίση με την απόσταση πεδήσεως από την είσοδο. Αντίθετα μία σήραγγα απαιτεί επιπλέον φωτισμό όταν η έξοδος από την ίδια απόσταση παρουσιάζεται σαν ένα σκοτεινό πλαίσιο μέσα στο οποίο τα αντικείμενα, π.χ. οχήματα μπορεί να είναι κρυμμένα.

Η αναγκαιότητα της εγκατάστασης φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι επίσης συνάρτηση των εξής παραμέτρων: του μήκους, της καμπυλότητας και της κλίσης της σήραγγας, της πυκνότητας της κυκλοφορίας, των συνθηκών ορατότητας, της ανακλαστικότητας των τοιχωμάτων της σήραγγας και του αν είναι ορατή η έξοδος της σήραγγας πριν από την είσοδο της. Σε μία κοντή σήραγγα της οποίας η έξοδος δεν είναι ορατή στο σύνολο της μπορεί να μην χρειάζεται επιπλέον φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας, εξαιτίας της υψηλής διείσδυσης του φωτός μέσα σε αυτή. Μία σήραγγα μεγάλου μήκους και με έξοδο σε μία ανοιχτή περιοχή επίπεδη ή με κατηφορική κλίση και προσανατολισμό προς το νότο επιτρέπει τη μέγιστη διείσδυση φωτός. Αντίθετα, η διείσδυση φωτός είναι ιδιαίτερα φτωχή σε σήραγγες όπου η έξοδος είναι σε όρυγμα, περιτριγυρισμένη από λόφους ή ψηλά κτίρια ή

υπάρχει ανηφορική κλίση ή έχουν προσανατολισμό εξόδου προς το βορά. Όμως και στις περιπτώσεις υψηλής διείσδυσης του φωτός της ημέρας η ορατότητα ελαττώνεται σημαντικά όταν τα τοιχώματα της σήραγγας χαρακτηρίζονται από χαμηλό συντελεστή ανάκλασης ή όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος της οδού είναι μεγάλος με μεγάλο ποσοστό βαρέων οχημάτων. Έτσι σύμφωνα με τα παραπάνω στο **Σχήμα 6.1** (CIE 88-1990) που ακολουθεί παρακάτω παρουσιάζονται οι παράμετροι και η επίδραση τους στην απαίτηση για ημερήσιο φωτισμό. Αυτό το διάγραμμα δίνει τις κατευθυντήριες γραμμές για το αν μία σήραγγα ή υπόγεια διάβαση απαιτεί πλήρη φωτισμό ή χρειάζεται το 50% του πλήρους φωτισμού.[2]



Σχήμα 6.1 **Φωτισμός ημέρας συναρτήσει του μήκους των σηράγγων.**

[2] Σε σήραγγες άνω των 75m όπου δεν απαιτείται φωτισμός ημέρας σύμφωνα με το σχήμα 6.1 ,τουλάχιστον μία ώρα πριν τη δύση του ήλιου και μία ώρα μετά την ανατολή το επίπεδο φωτισμού πρέπει να είναι ίσο με τη προτεινόμενη τιμή της κεντρικής ζώνης των μεγάλων σηράγγων.

6.3 Ορολογία

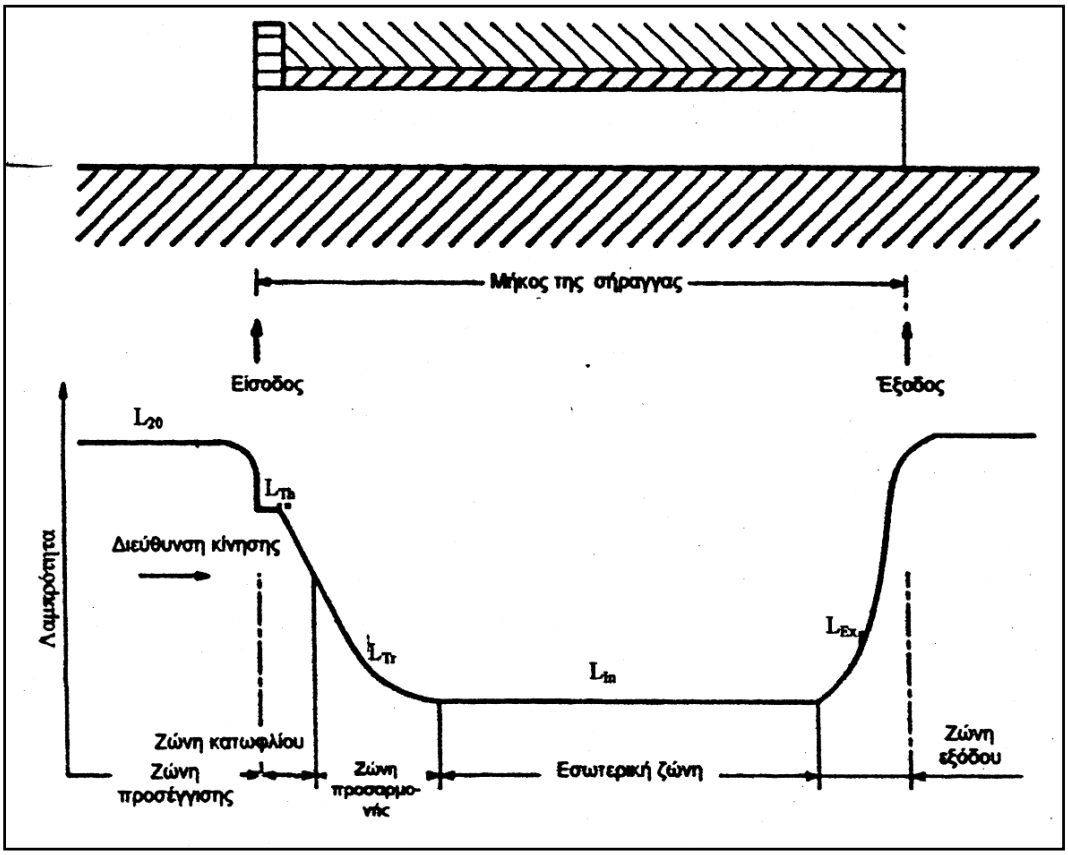
Σε αυτό τον οδηγό οποιοδήποτε κάλυμμα του δρόμου περιλαμβάνεται στον όρο σήραγγα, ανεξάρτητα από το μήκος και τη φύση του καλύμματος. Ηλιοπροστασίες, φεγγίτες και άλλες τέτοιου τύπου κατασκευές θεωρούνται μέρος της σήραγγας.

6.3.1 Ζώνες σηράγγων

Ο ρόλος του φωτισμού των σηράγγων είναι η ελάττωση ή εξάλειψη της διαφοράς του επιπέδου της οπτικής προσαρμογής του οδηγού που είναι απαραίτητη, ώστε να μπορεί να διακρίνει λεπτομέρειες μέσα και έξω από τη σήραγγα. Ο φωτισμός των σηράγγων όπως ήδη αναφέραμε είναι περισσότερο αναγκαίος κατά την διάρκεια της ημέρας, όπου υπάρχει έντονο ηλιακό φως, επειδή το ανθρώπινο οπτικό σύστημα δεν μπορεί να παρατηρεί ταυτόχρονα λεπτομέρειες σε χώρο με διαφορετικά επίπεδα φωτεινότητας.

Έτσι ο φωτισμός της σήραγγας καλείται να μειώσει σημαντικά την διαφορά μεταξύ των επιπέδων λαμπρότητας έξω και μέσα στη σήραγγα, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο στον οδηγό επαρκές χρονικό διάστημα το οποίο εξαρτάται από τη διαφορά αυτή ώστε να προσαρμοσθεί στο περιβάλλον της σήραγγας.

Πέντε ζώνες φωτισμού έχουν αναγνωρισθεί. Το **Σχήμα 6.2** δείχνει τις πέντε ζώνες φωτισμού κατά μήκος της σήραγγας.



Σχήμα 6.2 : **Τυπική κατά μήκος τομή σήραγγας μίας κατεύθυνσης.**

Σημείωση : Στις ζώνες προσέγγισης και εξόδου οι λαμπρότητες είναι ενδεικτικές λαμπρότητες που έχουν σχέση με την κατάσταση προσαρμογής του ματιού. Στις υπόλοιπες ζώνες οι λαμπρότητες είναι οι τοπικές λαμπρότητες της σήραγγας.

1. Ζώνη προσέγγισης (Access Zone)

Η ζώνη προσέγγισης δεν είναι ακριβώς τμήμα της ίδιας της σήραγγας, αλλά ο δρόμος προσέγγισης ακριβώς πριν την είσοδο της, από όπου οι οδηγοί μπορούν να διακρίνουν και να σταματήσουν μπροστά από τα εμπόδια της σήραγγας. Παράμετροι που επηρεάζουν την ορατότητα του οδοστρώματος μέσα στη σήραγγα, όπως αυτό φαίνεται από σημεία της ζώνης προσέγγισης είναι: ο φωτισμός στη ζώνη κατωφλίου ο οποίος, αν είναι επαρκής, επιτρέπει στους οδηγούς στη ζώνη προσέγγισης να δουν αντικείμενα του δρόμου μέσα στη σήραγγα, και οι επιδράσεις της θάμβωσης από το πέπλο λαμπρότητας που δημιουργείται από το διάχυτο ατμοσφαιρικό φως το οποίο συμβάλει στη μείωση της αντίθεσης λαμπρότητας των αντικειμένων στο οδόστρωμα, τόσο μέσα όσο και έξω από τη σήραγγα.

Στη ζώνη προσέγγισης ο οδηγός έρχεται αντιμέτωπος με το φαινόμενο της μαύρης τρύπας, το οποίο δημιουργείται όταν οι οδηγοί δεν μπορούν να δουν από τη ζώνη προσέγγισης μέσα στη ζώνη κατωφλίου, εξαιτίας της τεράστιας διαφοράς στα επίπεδα λαμπρότητας μεταξύ του εξωτερικού φωτός της ημέρας και του τεχνητού φωτισμού στη ζώνη κατωφλίου. Έτσι οι οδηγοί δεν είναι σίγουροι για το τι βρίσκεται στο διάδρομο κίνησης τους και ελαττώνουν την ταχύτητα με την οποία κινούνται. Η αποφυγή του φαινομένου της μαύρης τρύπας είναι ένα κρίσιμο θέμα για το σχεδιασμό του φωτισμού της σήραγγας.

Το μήκος της ζώνης προσέγγισης εξαρτάται από την ταχύτητα και την απόσταση ασφαλούς πεδήσεως(SSD) και πιο συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα σχεδιασμού της οδού τόσο μεγαλύτερη γίνεται η ζώνη προσέγγισης. Βασική παράμετρος για το σχεδιασμό της εγκατάστασης του φωτισμού της σήραγγας είναι η τιμή της λαμπρότητας $\mathbf{L_{20}}$, η οποία καθορίζει και τα επίπεδα λαμπρότητας στις υπόλοιπες ζώνες. Η λαμπρότητα αυτή είναι η μέση λαμπρότητα από τιμές που περικλείονται σε ένα κωνικό πεδίο όρασης, σε μία γωνία 20° από το μάτι του οδηγού που προσεγγίζει τη σήραγγα και είναι κεντραρισμένο σε ένα σημείο σε ύψος ¼ του ανοίγματος της σήραγγας, σε απόσταση ίση με την απόσταση πεδήσεως. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες ημερήσιου φωτισμού, σήραγγες με διαφορετικές προσβάσεις και διαφορετικούς περιβάλλοντες χώρους θα αποδώσουν σημαντικά διαφορετικές τιμές $\mathbf{L_{20}}$.

2. Ζώνη Κατωφλίου (Threshold Zone)

Η ζώνη κατωφλίου είναι το πρώτο κομμάτι στο εσωτερικό της σήραγγας. Ο φωτισμός της θα πρέπει να βασίζεται στην οπτική αντίληψη ενός οδηγού που βρίσκεται εκτός της σήραγγας και πλησιάζει, και αυτό με την σειρά του εξαρτάται από την λαμπρότητα της ζώνης προσέγγισης. Το μήκος της ζώνης κατωφλίου εξαρτάται από την μέγιστη ταχύτητα σχεδιασμού του δρόμου και θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με την απαιτούμενη απόσταση πέδησης ενός οχήματος έτσι ώστε με την είσοδο στη σήραγγα να υπάρχει η απαιτούμενη απόσταση πεδήσεως για τυχόν εμπόδια που γίνονται αντιληπτά και στο τέλος της ζώνης κατωφλίου. Το επίπεδο λαμπρότητας στη ζώνη κατωφλίου ($\mathbf{L_{th}}$) πρέπει να είναι επαρκές για την

αποφυγή του φαινομένου της μαύρης τρύπας, κατά το οποίο όπως προαναφέρθηκε ο οδηγός που προσεγγίζει την είσοδο της σήραγγας δεν μπορεί να διακρίνει αντικείμενα μέσα σε αυτήν.

3. Μεταβατική ζώνη (Transition Zone)

Η μεταβατική ζώνη είναι το τμήμα της σήραγγας που ακολουθεί τη ζώνη κατωφλίου, δηλαδή η δεύτερη ζώνη φωτισμού που αντιμετωπίζουν οι οδηγοί με την είσοδο τους στη σήραγγα. Σε αυτή τη ζώνη το επίπεδο της λαμπρότητας (L_{tr}) μειώνεται από τις υψηλές τιμές που κυριαρχούν στο τέλος της ζώνης κατωφλίου στο επίπεδο λαμπρότητας της εσωτερικής ζώνης. Αυτή η μείωση πρέπει να πραγματοποιηθεί βαθμιαία, έτσι ώστε να έχουν οι οδηγοί τον απαραίτητο χρόνο να προσαρμοσθούν στα χαμηλότερα επίπεδα φωτισμού με αποφυγή της μείωσης της ορατότητας και της άνεσης. Το μήκος της ζώνης μετάβασης εξαρτάται από τη μέγιστη ταχύτητα σχεδιασμού και τη διαφορά του φωτισμού μεταξύ του τέλους της ζώνης κατωφλίου και της εσωτερικής κεντρικής ζώνης.

4. Εσωτερική κεντρική ζώνη (Interior Zone)

Η εσωτερική ζώνη αρχίζει από το τέλος της μεταβατικής ζώνης. Μέσω της βαθμιαίας μείωσης των επιπέδων της λαμπρότητας στη μεταβατική ζώνη, το μάτι του οδηγού θα πρέπει τώρα να έχει προσαρμοστεί στις συνθήκες φωτισμού και θα μπορεί να διακρίνει με ασφάλεια την υπόλοιπη κυκλοφορία και τα διάφορα εμπόδια στο οδόστρωμα με το κατά πολύ χαμηλότερο αλλά σταθερό επίπεδο φωτισμού σε όλο το μήκος της εσωτερικής ζώνης. Σε περίπτωση υψηλών ταχυτήτων όπου η βαθμιαία μείωση της λαμπρότητας στη ζώνη μετάβασης δεν είναι ικανή να επιφέρει την πλήρη προσαρμογή στα κατώτατα επίπεδα φωτισμού της κεντρικής ζώνης απαιτούνται σημαντικά μεγαλύτερα επίπεδα φωτισμού στην κεντρική ζώνη. Το επίπεδο φωτισμού εξαρτάται από την απόσταση πεδήσεως και την κυκλοφοριακή ροή. Η λαμπρότητα στην εσωτερική ζώνη συμβολίζεται ως L_{in}.

5. Ζώνη εξόδου (Exit Zone)

Η ζώνη εξόδου είναι το τελευταίο τμήμα της σήραγγας κατά το σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού, όπου η όραση των οδηγών που προσεγγίζουν την έξοδο επηρεάζεται από το φως έξω από τη σήραγγα. Ο φωτισμός της ζώνης αυτής σχεδιάζεται έτσι ώστε να παρέχεται στους οδηγούς επαρκής ορατότητα όταν προσεγγίζουν τα υψηλά επίπεδα φωτισμού της ημέρας αμέσως μετά την έξοδο της σήραγγας. Στη ζώνη εξόδου το πρόβλημα σχετικά με την ορατότητα και την άνεση κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν είναι και τόσο κρίσιμο, καθώς τα αντικείμενα στη ζώνη εξόδου γίνονται αντιληπτά καθαρά από τη μορφή τους πάνω στο φόντο της φωτεινής εξόδου. Παρόλα αυτά σε περίπτωση υψηλών κυκλοφοριακών φόρτων όπου η απόσταση μεταξύ των οχημάτων είναι πολύ μικρή, η υψηλή φωτεινότητα έξω από τη σήραγγα δυσκολεύει τον οδηγό να κρίνει τους ελιγμούς του προπορευόμενου οχήματος, ιδιαίτερα όταν αυτό είναι ορατό πάνω στη σκοτεινή μορφή ενός μεγαλύτερου οχήματος π.χ. φορτηγού, το οποίο προπορεύεται και καλύπτει το

μεγαλύτερο τμήμα της φωτεινής εξόδου. Επίσης, η εφαρμογή τεχνητού φωτισμού είναι επιθυμητή στη ζώνη εξόδου ώστε οι οδηγοί που εξέρχονται της σήραγγας να έχουν επαρκή ορατότητα μέσω των καθρεφτών του οχήματος τους, ιδίως σε περίπτωση προσπέρασης ή αλλαγής λωρίδας κυκλοφορίας.

6.3.2 Λαμπρότητες

➢ **Λαμπρότητα ζώνης προσέγγισης**

Η επιρροή της λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης στην απαιτούμενη λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου μπορεί για πρακτικούς λόγους να υπολογιστεί από τον μέσο όρο των λαμπροτήτων που περιέχονται σε ένα κωνικό πεδίο γωνίας 20^0 που έχει κορυφή το μάτι του οδηγού που πλησιάζει τη σήραγγα και κέντρο της βάσης του κώνου ένα σημείο σε ύψος ¼ του ύψους του στομίου της σήραγγας Η λαμπρότητα αυτή ονομάζεται λαμπρότητα ζώνης προσέγγισης $\mathbf{L_{20}}$.

➢ **Λαμπρότητα ζώνης κατωφλίου**

Η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος σε κάθε σημείο της ζώνης προσέγγισης ονομάζεται λαμπρότητα ζώνης προσαρμογής, $\mathbf{L_{th}}$ στο σημείο αυτό.

➢ **Λόγος λαμπροτήτων ζώνης κατωφλίου και ζώνης προσέγγισης** $\frac{L_{th}}{L_{20}} = k$

Είναι ο λόγος της μέσης λαμπρότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος στην αρχή της ζώνης κατωφλίου και της λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης η οποία μετρήθηκε σε απόσταση ίση με την απόσταση πέδησης από την είσοδο της σήραγγας.

➢ **Λαμπρότητα μεταβατικής ζώνης**

Η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος σε κάθε σημείο της μεταβατικής ζώνης ονομάζεται λαμπρότητα μεταβατικής ζώνης, $\mathbf{L_{tr}}$ στο σημείο αυτό.

➢ **Λαμπρότητα εσωτερικής κεντρικής ζώνης**

Η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος σε κάθε σημείο της εσωτερικής κεντρικής ζώνης ονομάζεται λαμπρότητα εσωτερικής ζώνης, $\mathbf{L_{in}}$ στο σημείο αυτό.

➢ **Μέγιστη ταχύτητα σχεδιασμού**

Η Μέγιστη ταχύτητα σχεδιασμού είναι η μέγιστη ταχύτητα οδήγησης για την οποία η μελέτη φωτισμού θα πρέπει να εκπληρώσει το σκοπό που περιγράψαμε στο προηγούμενο μέρος.

➢ **Απόσταση Ασφαλούς Πέδησης (SSD)**

Η απόσταση ασφαλούς πέδησης είναι η απόσταση που απαιτείται ώστε ένα όχημα που κινείται με την μέγιστη ταχύτητα σχεδιασμού του δρόμου να σταματήσει τελείως με ασφάλεια. Η απόσταση ασφαλούς πέδησης περιλαμβάνει τόσο την απόσταση

που καλύπτει το όχημα κατά τη διάρκεια της αντίδρασης του οδηγού, όσο και την απόσταση που καλύπτει κατά το φρενάρισμα μέχρι να σταματήσει τελείως. Δίνεται από το Διάγραμμα 1 του κεφαλαίου 3 κατά DIN 67524.

➢ **Σύστημα φωτισμού και φωτεινή αντίθεση**

Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίθεση ενός αντικειμένου τόσο καλύτερα φαίνεται. Η φωτεινή αντίθεση ενός αντικειμένου εξαρτάται από:

- τις ιδιότητες ανάκλασης του αντικειμένου.
- τις ιδιότητες ανάκλασης του οδοστρώματος.
- τις ιδιότητες ανάκλασης των τοιχωμάτων της σήραγγας.
- το σύστημα φωτισμού που έχει χρησιμοποιηθεί.

Ένα σύστημα φωτισμού που παράγει υψηλές λαμπρότητες κατά τη διεύθυνση του οδοστρώματος L και χαμηλές κατακόρυφες λαμπρότητες E_v (δηλαδή υψηλές τιμές του λόγου L/E_v), δίνει σχετικά υψηλές τιμές στα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω στο οδόστρωμα. Ένα τέτοιο σύστημα φωτισμού μπορεί να δημιουργηθεί όταν η διανομή του φωτός είναι κατά μήκος ασύμμετρη και ιδιαίτερα αν έχει διεύθυνση προς τον οδηγό. Αυτό το σύστημα ονομάζεται ασύμμετρο σύστημα φωτισμού (Counter Beam Lighting).

Ενώ στο συμμετρικό φωτισμό το φως κατευθύνεται με την ίδια ποσότητα τόσο στην κατεύθυνση της ροής των οχημάτων όσο και στην αντίθετη κατεύθυνση, με αποτέλεσμα η λαμπρότητα του δρόμου να είναι ίδια προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και αν κινείται ο οδηγός.

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο δύο κατηγορίες συστημάτων φωτισμού προκύπτουν με βάση το λόγο L/E_v.

Πίνακας 6.1**: Καθορισμός συστήματος φωτισμού**

Σύστημα Φωτισμού[3]	**Συντελεστής αντίθεσης $q_c=L/E_v$**
Συμμετρικό σύστημα	**≤**0.2
Ασύμμετρο σύστημα	**≥**0.6

6.4 Κυκλοφορία και συνθήκες δρόμων

6.4.1 Δυσκολία στην οδήγηση

Ο βαθμός δυσκολίας στην οδήγηση σε ένα δρόμο γενικά επηρεάζεται από την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων τον όγκο και την σύνθεση της κυκλοφορίας και την διάταξη του δρόμου και του άμεσου περιβάλλοντος του. Ο κυκλοφοριακός όγκος

[3] Συστήματα φωτισμού με λόγο L/E_V μεταξύ του 0.2 και 0.6 σπανίως συναντώνται. Τέτοια συστήματα ακολουθούν τις προτάσεις του οδηγού για συμμετρικά συστήματα

μπορεί να σχετίζεται με την διάταξη του δρόμου και του άμεσου περιβάλλοντος αυτού. Όπως και στους συνηθισμένους αυτοκινητόδρομους, έτσι και στις σήραγγες, όσο αυξημένος είναι ο κυκλοφοριακός όγκος τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος ατυχήματος. Τα επίπεδα φωτισμού στην κεντρική ζώνη αυξάνονται με τον κυκλοφοριακό όγκο. Οι προτεινόμενες τιμές που δίνονται σε αυτές τις προδιαγραφές πρέπει να θεωρούνται οι ελάχιστες για κανονικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Όπου η κυκλοφοριακή πυκνότητα είναι μεγαλύτερη, η απόσταση πέδησης είναι μεγαλύτερη ή γενικά οι συνθήκες του δρόμου μη ιδανικές θα πρέπει να παίρνονται μεγαλύτερες τιμές.

6.4.2 Ταχύτητα και ορατότητα

Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα σχεδιασμού του δρόμου τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση πέδησης των οχημάτων. Για ένα οδηγό στη ζώνη προσέγγισης αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μέσα στη σήραγγα που θα πρέπει να βλέπει. Σε πιο απομακρυσμένες θέσεις η λαμπρότητα της ζώνης προσέγγισης και πιο συγκεκριμένα η L_{20} θα είναι μεγαλύτερη. Επίσης σε μεγαλύτερες αποστάσεις ένα αντικείμενο μέσα στη σήραγγα καταλαμβάνει μικρότερη γωνία στο μάτι του οδηγού επομένως είναι λιγότερο ορατό. Ακόμη όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του οδηγού από την είσοδο της σήραγγας τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα ελαττωμένης ορατότητας λόγω του ατμοσφαιρικού διάχυτου φωτός.

Ο λόγος των λαμπροτήτων ζώνης κατωφλίου και ζώνης προσέγγισης L_{th}/L_{20} πρέπει να είναι μεγαλύτερος για μεγαλύτερες ταχύτητες σχεδιασμού ή για μεγαλύτερες αποστάσεις πέδησης ή για όταν συμβαίνουν και τα δύο.

Οι υποδείξεις σε αυτές τις προδιαγραφές σχετίζονται με τις αποστάσεις πέδησης. Η πραγματική σχέση μεταξύ απόστασης πέδησης και ταχύτητας εξαρτάται από τοπικούς νόμους κυκλοφορίας που πρέπει να ληφθούν υπόψη, για παράδειγμα ελάχιστη επιτρεπόμενη εγκάρσια διάσταση ελαστικών, τύποι και συντήρηση των οδοστρωμάτων και καιρικές συνθήκες. Επομένως οι τοπικές συνθήκες θα πρέπει να είναι η βάση για τον καθορισμό της απόστασης πέδησης ανάλογα με την ονομαστική τραχύτητα.

6.5 Φωτισμός ημέρας

6.5.1 Εισαγωγή

Οι πιο σημαντικές διαφορές που εμφανίζονται στα πρότυπα φωτισμού και στις τεχνικές που υιοθετούνται σε διάφορες χώρες του κόσμου συσχετίζονται με το επίπεδο λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης. Γενικά η τιμή της μέγιστης λαμπρότητας εμφανίζεται στο μέσο του καλοκαιριού τις απογευματινές ώρες, αλλά μπορεί να υπάρχουν αποκλίσεις σε περιπτώσεις χιονισμένου περιβάλλοντος όταν ο ήλιος περνά κοντά στο πεδίο όρασης.

Παρόλο που από μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η λαμπρότητα στη ζώνη κατωφλίου πρέπει να είναι γύρω στο 10% της λαμπρότητας προσέγγισης, για οικονομικούς λόγους συχνά υιοθετούνται χαμηλότερες τιμές σε πολλές χώρες. Η μείωση του επιπέδου λαμπρότητας μπορεί να επιτευχθεί με την προϋπόθεση ότι ισχύουν οι παρακάτω παράγοντες:

- Γνώση της συμπεριφοράς της τοπικής κυκλοφορίας (ετήσια μέση ημερήσια κυκλοφορία της οδού).
- Μείωση του προτύπου της οπτικής άνεσης.
- Χρησιμοποίηση συστημάτων φωτισμού με χαρακτηριστικά καλύτερης αντίθεσης λαμπρότητας.
- Μείωση του ορίου ταχύτητας κυκλοφορίας στη σήραγγα σε σχέση με την ταχύτητα έξω από αυτήν.
- Χρήση πινακίδων με τη φράση "Χρησιμοποιήστε τους προβολείς του οχήματος" κοντά στη ζώνη προσέγγισης της σήραγγας.

Επίσης, δίνονται στοιχεία για το φωτισμό σηράγγων (μακριών και κοντών) κατά τη διάρκεια της νύχτας τόσο για μακριές όσο και για κοντές σήραγγες και παρουσιάζονται κάποια στοιχεία για τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος φωτισμού.

6.5.2 Λαμπρότητα στην Ζώνη Προσέγγισης

Κατά τις συστάσεις της CIE τα κρίσιμα σημεία τα οποία πρέπει να ικανοποιούνται από κάθε εγκατάσταση φωτισμού σηράγγων είναι:

- Ο καθορισμός των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού, δηλαδή ο υπολογισμός της ασφαλούς απόστασης πεδήσεως, της λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης L_{20} και των μηκών των διαφόρων ζωνών της σήραγγας.
- Τα επίπεδα λαμπρότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος και των κατώτερων μερών των τοιχωμάτων της σήραγγας.
- Η ομοιομορφία της κατανομής του φωτός.
- Ο έλεγχος της θάμβωσης.
- Η αποφυγή της φωτεινής πάλμωσης.

Οι συστάσεις της CIE σχετίζονται με την απόσταση πεδήσεως. Η σχέση μεταξύ της απόστασης πεδήσεως και της ταχύτητας σχεδιασμού εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες κυκλοφορίας, τις καιρικές συνθήκες και τον τύπο και τη συντήρηση του δρόμου.

Ο προσδιορισμός της λαμπρότητας στη ζώνη προσέγγισης αποτελεί ένα έργο κεφαλαιώδους σημασίας, καθώς ο καθορισμός των λαμπροτήτων στις διάφορες ζώνες κατά μήκος της σήραγγας εξαρτάται από τη λαμπρότητα L_{20} , δηλαδή τη λαμπρότητα σε μία απόσταση ίση με την απόσταση πεδήσεως μπροστά στη συγκεκριμένη σήραγγα. Για το σχεδιασμό της εγκατάστασης του φωτισμού σε μία σήραγγα κάποιος χρειάζεται να ξέρει την υψηλότερη τιμή της L_{20} που συμβαίνει αρκετά συχνά κατά τη διάρκεια του έτους. Καθώς αυτή η τιμή εξαρτάται από εποχικές και καιρικές συνθήκες, δεν μπορεί στην πραγματικότητα να μετρηθεί και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται και απλοποιημένες μέθοδοι για τον υπολογισμό της.

Έτσι για τον υπολογισμό της λαμπρότητας L_{20} υπάρχουν διάφορες δυνατότητες:

1. Πραγματική μέτρηση

Πραγματικές μετρήσεις μπορούν να γίνουν μόνο όταν η σήραγγα έχει ήδη κατασκευαστεί. Οι μετρήσεις θα πρέπει να διεξαχθούν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (τουλάχιστον κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών) για να βρεθεί η μέγιστη λαμπρότητα στη ζώνη προσέγγισης. Καθώς ο φωτισμός μιας νέας σήραγγας δεν μπορεί να καθυστερήσει αυτές οι μετρήσεις δεν γίνονται. Μπορεί να γίνουν οι μετρήσεις σε περιπτώσεις επαναπροσδιορισμού του φωτισμού σε μία σήραγγα.

2. Γραφική μέθοδος

Με τη βοήθεια προοπτικών τρισδιάστατων σκίτσων απεικόνισης της εισόδου της σήραγγας που μπορούν να γίνουν με το χέρι ή με τη βοήθεια υπολογιστή χρησιμοποιώντας καθορισμένες ή προσεγγιστικές τιμές λαμπρότητας για τον περιβάλλοντα χώρο της εισόδου της σήραγγας (όπως η λαμπρότητα τοιχωμάτων εισόδου, του οδοστρώματος, του ουρανού, του γρασιδιού, των δέντρων, των κρασπέδων κ.α.).

3. Σύγκριση με άλλες υφιστάμενες σήραγγες

Σε κάποια πρότυπα δίνονται παραδείγματα τυπικών εισόδων σηράγγων, όπως αυτές φαίνονται από συγκεκριμένες αποστάσεις. Η λαμπρότητα L_{20} μπορεί να προσεγγιστεί συγκρίνοντας την είσοδο της υπό μελέτη σήραγγας με κάποιο από τα δεδομένα σκίτσα.

4. Προσεγγιστικές τιμές σε πίνακες

Έχουν δημιουργηθεί πίνακες προσδιορισμού της λαμπρότητας L_{20} σε σχέση με το ποσοστό του ουρανού, την απόσταση πεδήσεως, τον προσανατολισμό και τη φωτεινότητα του περιβάλλοντα χώρου της εισόδου της σήραγγας. Οι τιμές αυτές είναι εμπειρικές.

6.5.3 Υπολογισμός της λαμπρότητας L_{20} σύμφωνα με CIE

Ο καθορισμός της λαμπρότητας στην οποία τα μάτια του οδηγού προσαρμόζονται καθώς πλησιάζουν στη σήραγγα είναι καθοριστική στο ρυθμό μεταβολής της λαμπρότητας που είναι απαραίτητη στη ζώνη κατωφλίου της σήραγγας.

Οι δύο παράγοντες που επηρεάζουν τη λαμπρότητα προσαρμογής είναι:

- Το **πέπλο φωτεινότητας L_{seq}** που παράγεται από τις διάφορες λαμπρότητες στον περιβάλλοντα χώρο της εισόδου της σήραγγας

- Η **λαμπρότητα στο κεντρικό πεδίο όρασης του οδηγού** (για παράδειγμα ο δρόμος μπροστά του και η είσοδος της σήραγγας)

Έχει αποδειχθεί στην έκδοση CIE No 61 ότι <u>το πέπλο φωτεινότητας είναι ο κύριος παράγοντας</u> που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον καθορισμό της προσαρμογής του οδηγού. Υπολογισμός του πέπλου λαμπρότητας στην είσοδο της σήραγγας δίνεται στο παράρτημα 1.

Η συσχέτιση της Lseq και της L_{20} στατιστικά είναι αρκετά καλή σε φυσιολογικές συνθήκες αλλά σε εξαιρετικές συνθήκες η διασπορά είναι αξιοσημείωτη, έτσι ώστε να υπάρχει σημαντική ασυμφωνία στις δύο περιπτώσεις. Αυτές οι περιπτώσεις περιλαμβάνουν καταστάσεις που το ποσοστό του ουρανού που φαίνεται στο πεδίο των L_{20} είναι πολύ υψηλό ή πολύ χαμηλό, όπου το συνολικό επίπεδο λαμπρότητας στην ζώνη προσέγγισης είναι πολύ υψηλό (ήλιος το μεσημέρι) ή όπου ο ήλιος δύει κοντά στο πεδίο των L_{20}.

Μια μέθοδος υπολογισμού EVL, η οποία είναι ταυτόχρονα ακριβής και εύκολη είναι ακόμα υπό σκέψη. Οι συστάσεις που δίνονται εδώ είναι βασισμένες στην αρχή της λαμπρότητας ζώνης προσέγγισης L_{20} αλλά θεωρούνται προσωρινές.

Η τιμή της λαμπρότητας που απαιτείται στην αρχή της ζώνης κατωφλίου πρέπει να βασίζεται στην τιμή της L_{20} όπως αυτή μετριέται σε μία απόσταση ίση με την καθορισμένη απόσταση πέδησης μπροστά στη σήραγγα για την οποία γίνεται η μελέτη. Κάτω από όμοιες συνθήκες φωτισμού από τον ήλιο, σήραγγες με διαφορετική προσέγγιση και διαφορετικό περιβάλλοντα χώρο θα δώσουν σημαντικά διαφορετικές τιμές της L_{20}.

Για την μελέτη φωτισμού μίας σήραγγας είναι απαραίτητη η γνώση της μέγιστης τιμής L_{20} η οποία εμφανίζεται με κάποια ικανή συχνότητα κατά τη διάρκεια του έτους.

Καθώς η L_{20} εξαρτάται από εποχιακές και καιρικές συνθήκες δεν μπορεί στη πραγματικότητα να μετρηθεί οπότε δύο απλοποιημένες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως περιγράφονται ακολούθως.

Για τον υπολογισμό της λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης σύμφωνα με CIE χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μέθοδοι:

Πρώτη μέθοδος

Επιλογή της τιμής L_{20} από τον **Πίνακα 6.2**: Τιμές της λαμπρότητας L_{20} της ζώνης προσέγγιση λαμβάνοντας υπόψη τις σημειώσεις και τις παρατηρήσεις. Στον πίνακα αυτό διαμορφώνονται τιμές της L_{20} (cd/m^2) σε σχέση με το ποσοστό του ουρανού, την απόσταση πεδήσεως (η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με το Διάγραμμα 1 του κεφαλαίου 3 κατά DIN 67524), τον προσανατολισμό και τη φωτεινότητα του περιβάλλοντα χώρου της εισόδου της σήραγγας. Οι τιμές είναι υπολογισμένες με βάση τις εμπειρικές μελέτες, και γίνονται γνωστές για να αντιπροσωπεύσουν σε έναν λογικό βαθμό το 80% του χρονικού επιπέδου λειτουργίας με μια ικανοποιητική συχνότητα εμφάνισης κατά τη διάρκεια του έτους παρόμοιου με το χρόνο στη δημοσίευση CIE 88-1990 για τις περισσότερο συνηθισμένες συνθήκες σηράγγων. Η μέθοδος προσέγγισης δίνει μια πρόχειρη

ένδειξη μόνο και πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο όταν δεν είναι διαθέσιμες αρκετά αναλυτικές πληροφορίες για το άμεσο περιβάλλον της εισόδου της σήραγγας.

Πίνακας 6.2 **Τιμές της λαμπρότητας L_{20} της ζώνης προσέγγισης**

Μέση Λαμπρότητα L_{20} στο κωνικό πεδίο όρασης 20^0,cd/m^2																
	Ποσοστό του ουρανού μέσα στο κωνικό πεδίο όρασης 20^0															
	35%				**25%**				**10%**				**0%**			
Κατάσταση φωτεινότητας μέσα στο πεδίο όρασης	Κανονική		Με χιόνι		Κανονική		Με χιόνι		Κανονική		Με χιόνι		Κανονική		Με χιόνι	
	χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή	χαμηλή	Υψηλή	χαμηλή	Υψηλή	χαμηλή	Υψηλή	χαμηλή	Υψηλή	χαμηλή	Υψηλή	χαμηλή	Υψηλή
	(1)		(1)		(1)		(1)		(2)		(1)		(2)		(1)	
Απόσταση πεδήσεως 60 m	(3)		(3)		4000	5000	4000	5000	2500	3500	3000	3500	1500	3000	1500	4000
Απόσταση πεδήσεως 100-160 m	4000	6000	4000	6000	4000	6000	4000	6000	3000	4500	3000	5000	2500	5000	2500	5000

χαμηλή : στο βόρειο ημισφαίριο, νότια είσοδος.
υψηλή: στο βόρειο ημισφαίριο, βόρεια είσοδος.
για ανατολικές και δυτικές εισόδους πρέπει να επιλεγούν μέσες τιμές μεταξύ των χαμηλών και των υψηλών.

(2) Επίδραση εξαρτώμενη κυρίως από τη φωτεινότητα του περιβάλλοντα χώρου
χαμηλή: χαμηλές τιμές ανάκλασης του περιβάλλοντα χώρου
υψηλή: υψηλές τιμές ανάκλασης του περιβάλλοντα χώρου

(3) Για μία απόσταση πεδήσεως 60m, το ποσοστό ουρανού 35% δεν συμβαίνει ποτέ στην πράξη.

Σημείωση: Βόρεια είσοδος είναι η είσοδος για τους οδηγούς που ταξιδεύουν προς τον νότο.
Νότια είσοδος είναι η είσοδος για τους οδηγούς που ταξιδεύουν προς το βορρά.

Δεύτερη μέθοδος

Η δεύτερη, ακριβέστερη, μέθοδος πρέπει να χρησιμοποιηθεί εάν είναι διαθέσιμη μια **τρισδιάστατη άποψη** της εισόδου της σήραγγας. Σε αυτή τη μέθοδο ο υπολογισμός του L_{20} επιτυγχάνεται από ένα σκαρίφημα του περιβάλλοντα χώρου της εισόδου της σήραγγας και υπολογίζεται με τη βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης:

$$L_{20}= \gamma L_c+\rho L_R+\varepsilon L_E+\tau L_{th} \qquad (6.1)$$

όπου **γ** = % του ουρανού
L_c = Λαμπρότητα του ουρανού
ρ = % του δρόμου
L_R=Λαμπρότητα του δρόμου
ε = % του περιβάλλοντα χώρου
L_E = Λαμπρότητα του περιβάλλοντα χώρου
τ = % της εισόδου της σήραγγας
L_{th} =Λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου της σήραγγας

Και $\gamma + \rho + \varepsilon + \tau = 1$

Σε αυτό το μοντέλο η άγνωστη προς καθορισμό τιμή είναι η τιμή λαμπρότητας της ζώνης κατωφλίου L_{th} .

Για αποστάσεις πεδήσεως των 100m και των 160m η τιμή του τ είναι χαμηλή (μικρότερη του 10%) και καθώς η τιμή L_{th} είναι χαμηλή σε αναλογία με τις άλλες λαμπρότητες ο όρος της L_{th} είναι αμελητέος. Για απόσταση πεδήσεως 60m η εξίσωση μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$L_{20}= (\gamma L_c+\rho L_R+\varepsilon L_E)/(1-\tau k) \qquad (6.2)$$

Ο συντελεστής κ ορίζεται ως το πηλίκο μεταξύ της μέσης λαμπρότητας της επιφάνειας του δρόμου στην αρχή της ζώνης κατωφλίου και της λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης μετρημένη σε απόσταση ίση με αυτή της απόστασης πεδήσεως μπροστά στη σήραγγα, δηλαδή $\mathbf{k=L_{th}/L_{20}}$. Ο συντελεστής k όπως φαίνεται στον **Πίνακα 6.3**: Προτεινόμενες τιμές λόγου $k=L_{th}/L_{20}$ που ακολουθεί, ποτέ δε ξεπερνά την τιμή 0,1 και έτσι το γινόμενο τk μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο και προκύπτει ότι:

$$L_{20}= \gamma L_c+\rho L_R+\varepsilon L_E \qquad (6.3)$$

Όπου $\gamma + \rho + \varepsilon <1$. Όταν δεν είναι δυνατός ο καθορισμός τους με ακρίβεια, για να υπολογίσει κανείς τις τιμές της ποσοστιαίας αναλογίας των περιοχών και του ουρανού που συμβάλλουν στην τιμή του L_{20} σε οποιαδήποτε είσοδο σήραγγας πρέπει να ληφθεί μια φωτογραφία από απόσταση ίση με την απόσταση ασφαλούς πεδήσεως

και, από μια γνωστή διάσταση στην εικόνα, π.χ. το ύψος της σήραγγας, η διάμετρος του κώνου L_{20} μπορεί να καθοριστεί από τη φωτογραφία. Εάν η σήραγγα δεν έχει κατασκευασθεί ακόμα τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια φωτογραφία εφόσον η γραμμή του ουρανού πιθανότατα δεν θα αλλάξει κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Διαφορετικά πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα σχέδιο κλίμακας. Η φωτογραφία ή το σχέδιο μπορούν έπειτα να τεθούν σε κλίμακα για τις σχετικές περιοχές (βράχος, ουρανός, κτίρια, κ.λ.π.) σαν ποσοστό της συνολικής περιοχής L_{20}. Εάν τα στοιχεία για τον παραπάνω υπολογισμό δεν είναι διαθέσιμα, τότε μια προσέγγιση του L_{20} μπορεί να ληφθεί από τα σκίτσα που δίνονται στο **Σχήμα 6.4**, με τη σύγκριση της φωτογραφίας ή του σκίτσου με το σκαρίφημα που μοιάζει περισσότερο. Οι τιμές των L_C, L_R, L_E εκφρασμένες σε kcd/m^2 που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.4**: Τιμές των L_C, L_R, L_E μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμες οι ακριβείς τοπικές συνθήκες.

Πίνακας 6.3**: Προτεινόμενες τιμές λόγου $k=L_{th}/L_{20}$**

	Συμμετρικό σύστημα Φωτισμού (L/E_v<0.2)	**Σύστημα φωτισμού αντίθετης δέσμης φωτός (L/E_v >0.6Σ)**
Απόσταση πεδήσεως(m)	**$k=L_{th}/L_{20}$**	**$k=L_{th}/L_{20}$**
60	0.05	0.04
100	0.06	0.05
160	0.10	0.07

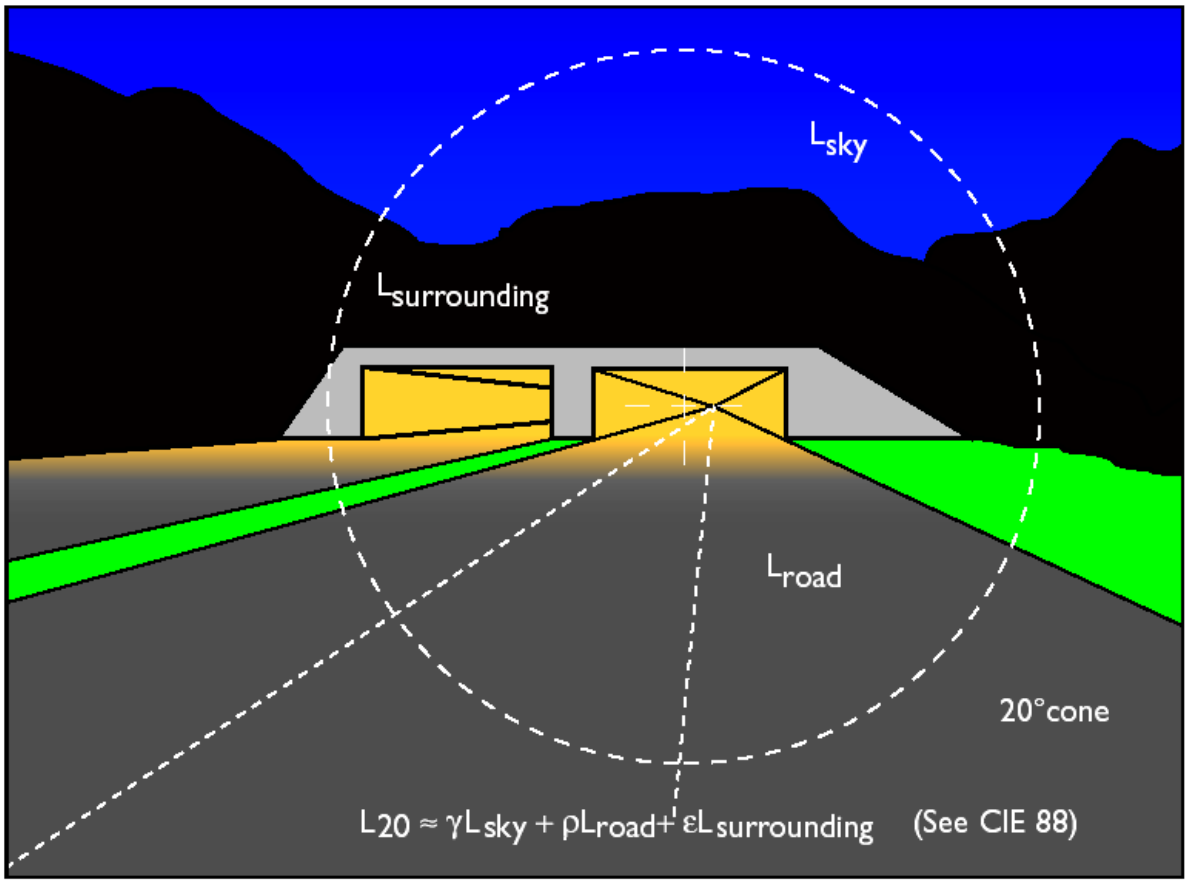
Σημείωση:

Εξαιτίας της περιορισμένης διεθνούς εμπειρίας στην εφαρμογή και στη λειτουργία των εγκαταστάσεων με υψηλό συντελεστή **L/E_v** (αντίθετης δέσμης) και την έλλειψη διεθνούς συμφωνίας για όλα τα θέματα αυτής της εφαρμογής, για αυτές τις εφαρμογές καθορίζονται σχετικά υψηλές τιμές του **$k=L_{th}/L_{20}$**. Αυτό γίνεται για την επίτευξη ενός βαθμού ασφαλείας και άνεσης συγκρίσιμες με αυτές που επιτυγχάνονται από τις συνηθισμένες συμβατικές εφαρμογές με μικρές τιμές του λόγου.

Πίνακας 6.4: **Τιμές των L_C, L_R, L_E**

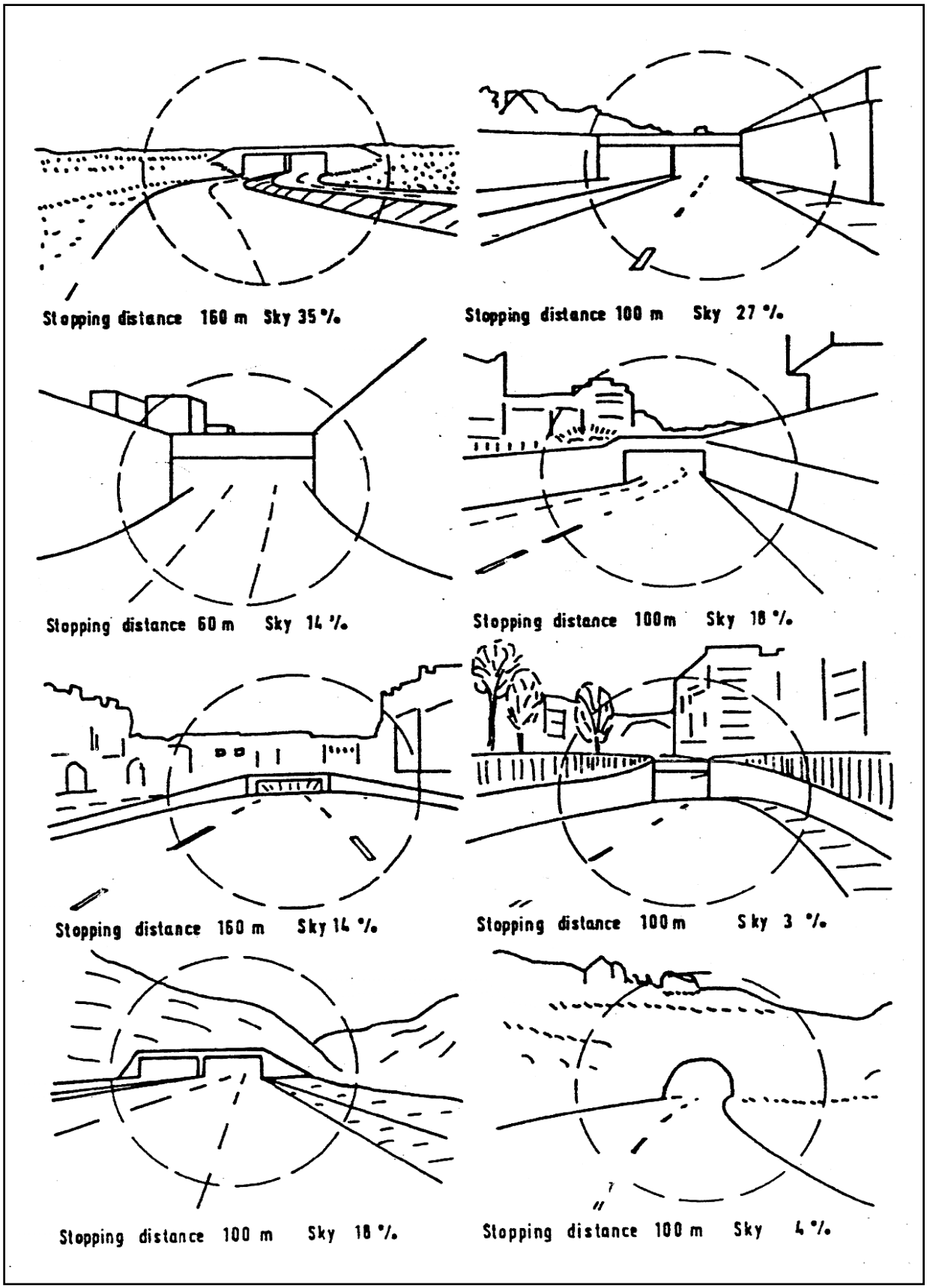
Κατεύθυνση Οδήγησης (Β. Ημισφαίριο)	**L_C (ουρανός) kcd/m^2**	**L_R (δρόμος) kcd/m^2**	**L_E (περιβάλλον) kcd/m^2**			
			Βράχος	**Κτίρια**	**Χιόνι**	**Λιβάδι**
Βορράς	8	3	3	8	15 (Β) 15 (Π)	2
Ανατολή -Δύση	12	4	2	6	10 (Β) 15 (Π)	2
Νότος	16	5	1	4	5 (Β) 15 (Π)	2

(Β): Βραχώδης χώρα με κατεξοχήν οξείες επιφάνειες. (Π): Πεδινή χώρα.



Σχήμα 6.3: **Υπολογισμός του κωνικού πεδίου ανοίγματος 20^0**

όπου **γ** = % του ουρανού
L_{sky} = Λαμπρότητα του ουρανού
ρ = % του δρόμου
L_{Road}=Λαμπρότητα του δρόμου
ε = % του περιβάλλοντα χώρου
$L_{surrounding}$ = Λαμπρότητα του περιβάλλοντα χώρου



Σχήμα 6.4 : **Βοηθητικά σκίτσα για τον υπολογισμό της λαμπρότητας L_{20}**

6.5.4 Λαμπρότητα στη Ζώνη Κατωφλίου

Στη συνέχεια του σχεδιασμού μιας εγκατάστασης φωτισμού σε μια σήραγγα ακολουθεί ο υπολογισμός της λαμπρότητας στη ζώνη κατωφλίου. Μία σήραγγα χρειάζεται φωτισμό κατά τη διάρκεια της μέρας όταν από απόσταση ίση με την απόσταση πεδήσεως μπροστά από την είσοδο της σήραγγας η έξοδος της εμφανίζεται σε ένα μαύρο πλαίσιο μέσα στο οποίο εμπόδια όπως οχήματα μπορεί να είναι κρυμμένα. Η πιθανότητα αυτή της μη διάκρισης των αντικειμένων μέσα στη σήραγγα αυξάνει στις εξής περιπτώσεις:

1. Όταν το μήκος της σήραγγας είναι μεγάλο.
2. Όταν τα αντικείμενα είναι μικρότερα από τα οχήματα.
3. Όταν η σήραγγα είναι καμπύλη ή με κλίση, έτσι ώστε να μην είναι ορατή η έξοδος από την απόσταση πεδήσεως μπροστά από την είσοδο της σήραγγας.

Το Σχήμα 6.1 που παρουσιάσθηκε προηγουμένως αποτελεί έναν οδηγό για τη λήψη απόφασης για το αν κάποια σήραγγα απαιτεί επιπλέον φωτισμό, θέλει ολικό φωτισμό, ή απαιτεί το 50% του ολικού φωτισμού κατά τη μέρα.

Μία σήραγγα με μεγάλη διατομή που έχει την έξοδο της σε ανοικτή περιοχή ή κατηφορικά επικλινή δρόμο και έχει νότιο προσανατολισμό επιτρέπει μεγάλη διείσδυση ηλιακού φωτός. Αντίθετα η διείσδυση ηλιακού φωτός θα είναι περιορισμένη όταν η έξοδος δεν φωτίζεται από τον ήλιο, είναι περικυκλωμένη από κτίρια ή όπου ο δρόμος έχει ανοδική κλίση ή έχει βόρειο προσανατολισμό. Όμως η ορατότητα σε μία περίπτωση με υψηλό βαθμό διείσδυσης ηλιακού φωτός θα μειωθεί πάρα πολύ αν ο βαθμός ανάκλασης των τοίχων είναι πολύ μικρός σε περιπτώσεις αυξημένης κυκλοφορίας, ο κίνδυνος ένα μεγαλύτερο όχημα να κρύβει τη θέα του φωτεινού φόντου αυξάνεται και έτσι ο κίνδυνος μη επαρκούς ορατότητας αυξάνεται αν η σήραγγα δεν είναι εφοδιασμένη με επιπρόσθετο φωτισμό.

Η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου που απαιτείται στην αρχή της ζώνης κατωφλίου L_{th} μπορεί να καθορισθεί από τους λόγους L_{th} /L_{20} που δίνονται στον Πίνακα 6.3 για διαφορετικές αποστάσεις πεδήσεως και διαφορετικούς λόγους L/E_v. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όταν χρησιμοποιούνται χαμηλοί λόγοι για το ασύμμετρο σύστημα φωτισμού, καθώς με την αποδοχή χαμηλότερων ημών της λαμπρότητας κατωφλίου γίνεται πιο έντονο το φαινόμενο της μαύρης τρύπας σε σχέση με αυτό της περίπτωσης του συμμετρικού συστήματος φωτισμού και η αίσθηση της άνεσης του οδηγού μειώνεται. Παρόλα αυτά, το ασύμμετρο σύστημα δημιουργεί περισσότερη αντίθεση λαμπρότητας μεταξύ των μικρών αντικειμένων και του οδοστρώματος, επιτυγχάνοντας έτσι ένα μεγαλύτερο επίπεδο ορατότητας με μικρότερες λαμπρότητες. Για αποστάσεις πεδήσεως μεταξύ των τιμών του πίνακα επιτρέπεται παρεμβολή. Η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων της σήραγγας μέχρι και ύψος 2m δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου.

Το συνολικό μήκος της ζώνης κατωφλίου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με την απόσταση πεδήσεως. Κατά το πρώτο ήμισυ αυτής της απόστασης η λαμπρότητα θα πρέπει να είναι ίση με την L_{th} , και στη συνέχεια μπορεί βαθμιαία να μειώνεται, ώστε να καταλήξει στο τέλος της ζώνης σε μία τιμή ίση με το $0,4L_{th}$. Η βαθμιαία μείωση μπορεί να γίνει με βήματα έτσι ώστε ο λόγος της λαμπρότητας μεταξύ του ενός βήματος και του επομένου του να μην ξεπερνά το 3:1.

Σημειώσεις

Λόγω της περιορισμένης διεθνούς εμπειρίας στην εφαρμογή εγκαταστάσεων με υψηλό λόγο L/E_v και την έλλειψη διεθνούς συμφωνίας σε όλα τα ζητήματα σε αυτούς τους τύπους εγκαταστάσεων, σχετικά υψηλές τιμές L_{th}/L_{20} καθορίζονται σε αυτές τις εγκαταστάσεις. Αυτό γίνεται για να εξασφαλίζεται ότι κάτω από όλες τις συνθήκες ο βαθμός ασφαλείας και άνεσης που επιτυγχάνεται είναι τουλάχιστον συγκρίσιμος με αυτόν που επιτεύχθηκε από πιο συμβατικές εγκαταστάσεις με χαμηλό λόγο L/E_v . Όλες οι τιμές που καθορίζονται εδώ είναι έγκυρες για φυσιολογικές και δυσμενείς κυκλοφοριακές καταστάσεις. Εκεί όπου οι καταστάσεις είναι καθαρά ευνοϊκές οι λόγοι του πίνακα 6.3 μπορούν να ελαττωθούν στο 0,75 της αρχικής τους τιμής. Αυτός ο παράγοντας μπορεί να χρησιμοποιείται όταν εκπληρώνονται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Μονόδρομη κυκλοφορία στη σήραγγα.
- Όχι ανάμιξη αργής και γρήγορής κυκλοφορίας.
- Όχι αλλαγές λωρίδων.
- Δεν επιτρέπεται η στάση των οχημάτων μέσα στη σήραγγα.
- Μικρός όγκος κυκλοφορίας.
- Ευθεία σήραγγα.

Για το ασύμμετρο σύστημα φωτισμού, ορισμένες χώρες πεπειραμένες στην χρήση του, χρησιμοποιούν μικρότερες τιμές από αυτές που δίνονται στη στήλη 2 του πίνακα 6.3. Άλλες χώρες πιστεύουν ότι για κυκλοφοριακή πυκνότητα άνω της μέσης το συμμετρικό και το ασύμμετρο σύστημα μπορούν να χρησιμοποιούν τις ίδιες τιμές.

Όταν στην είσοδο της ζώνης κατωφλίου υπάρχουν αδιαφανή πετάσματα ή γρίλιες, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο συντελεστής k του συμμετρικού συστήματος φωτισμού.

Κάποιες φορές χρησιμοποιούνται διαφανή πετάσματα όπως οριζόντιοι φεγγίτες ή παράθυρα, θα πρέπει να λαμβάνονται προσεκτικά υπόψη προβλήματα φωτεινής πάλμωσης που οφείλονται στην διανομή φωτός και σκιάς στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

Όταν λυθούν ικανοποιητικά αυτά τα προβλήματα (π.χ. λαμβάνοντας υπόψη τον προσανατολισμό της σήραγγας, το γεωγραφικό πλάτος, τις. κλιματολογικές συνθήκες και την κατασκευή της σήραγγας) ο συντελεστής k πρέπει να είναι 0,3.

6.5.5 Λαμπρότητα στη Μεταβατική Ζώνη

Στη μεταβατική ζώνη η λαμπρότητα βαθμιαία μειώνεται από την τιμή της ζώνης κατωφλίου προς την τιμή της κεντρικής εσωτερικής ζώνης. Κι εδώ μπορεί η μείωση να γίνει σε βήματα με **λόγο μείωσης 3:1**. Η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων της σήραγγας μέχρι το ύψος των 2m δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου.

Η προτεινόμενη μείωση της λαμπρότητας κατά μήκος του άξονα της σήραγγας, δίνεται στο μέρος της καμπύλης που ξεκινά από το σημείο 0 που αντιστοιχεί στο χρόνο 0 όπως δείχνει το **Σχήμα 6.5** και **Σχήμα 6.6**. Όμως στην πράξη, κάποιες αποκλίσεις απ' την καμπύλη είναι αποδεκτές:

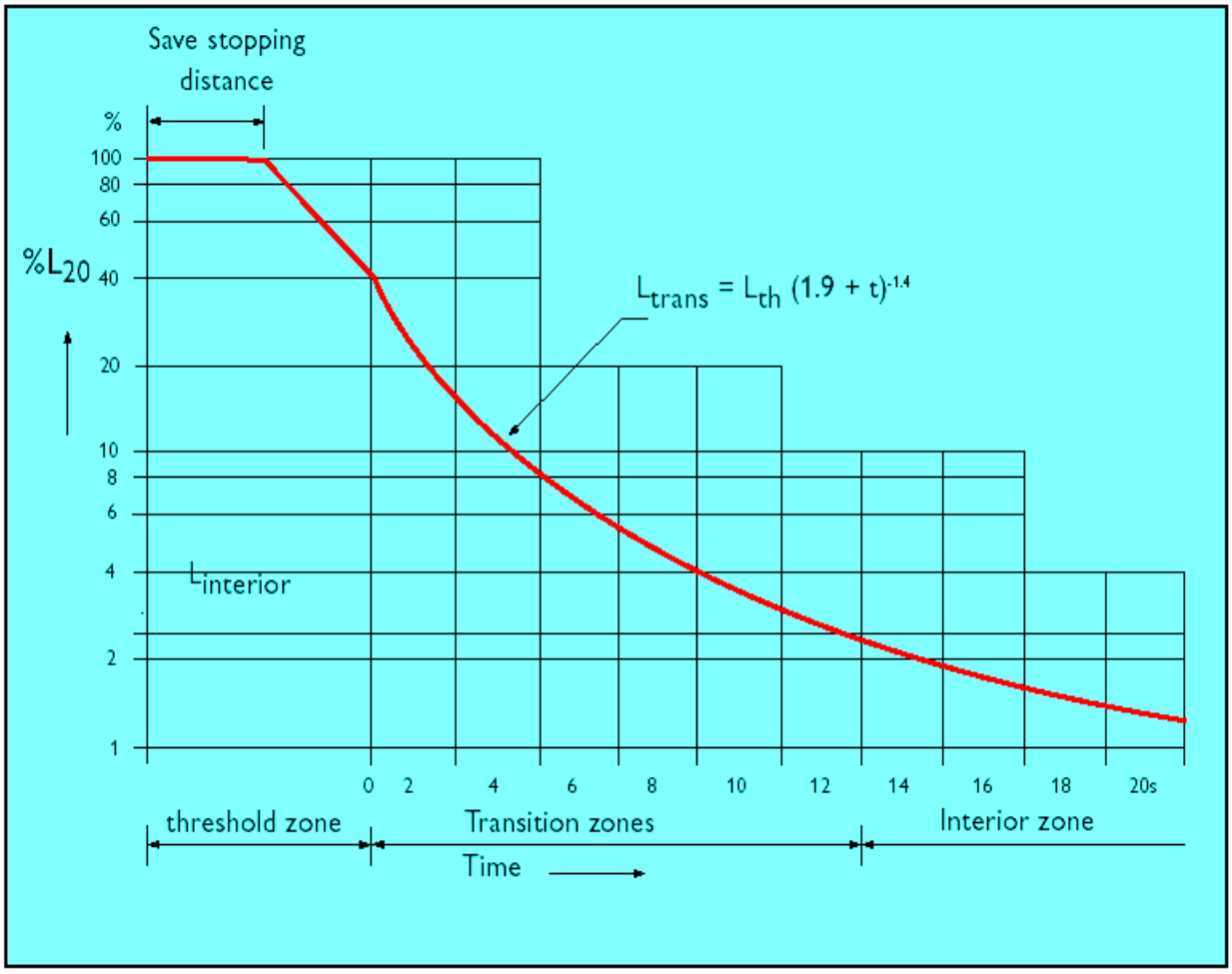
- Η καμπύλη αντιστοιχεί σε συνθήκες με μικρή οπτική δυσαρέσκεια Μερικές φορές μία κάπως πιο απότομη καμπύλη γίνεται δεκτή με μεγαλύτερη όμως δυσαρέσκεια. Η καμπύλη μπορεί να στρογγυλοποιηθεί από κάποια βήματα, η μέγιστη επιτρεπόμενη ελάττωση σ' αυτά τα βήματα να είναι 3:1 και τα

επίπεδα φωτισμού δεν πρέπει να πέφτουν κάτω απ' το ενδεικνυόμενο όριο της καμπύλης. .

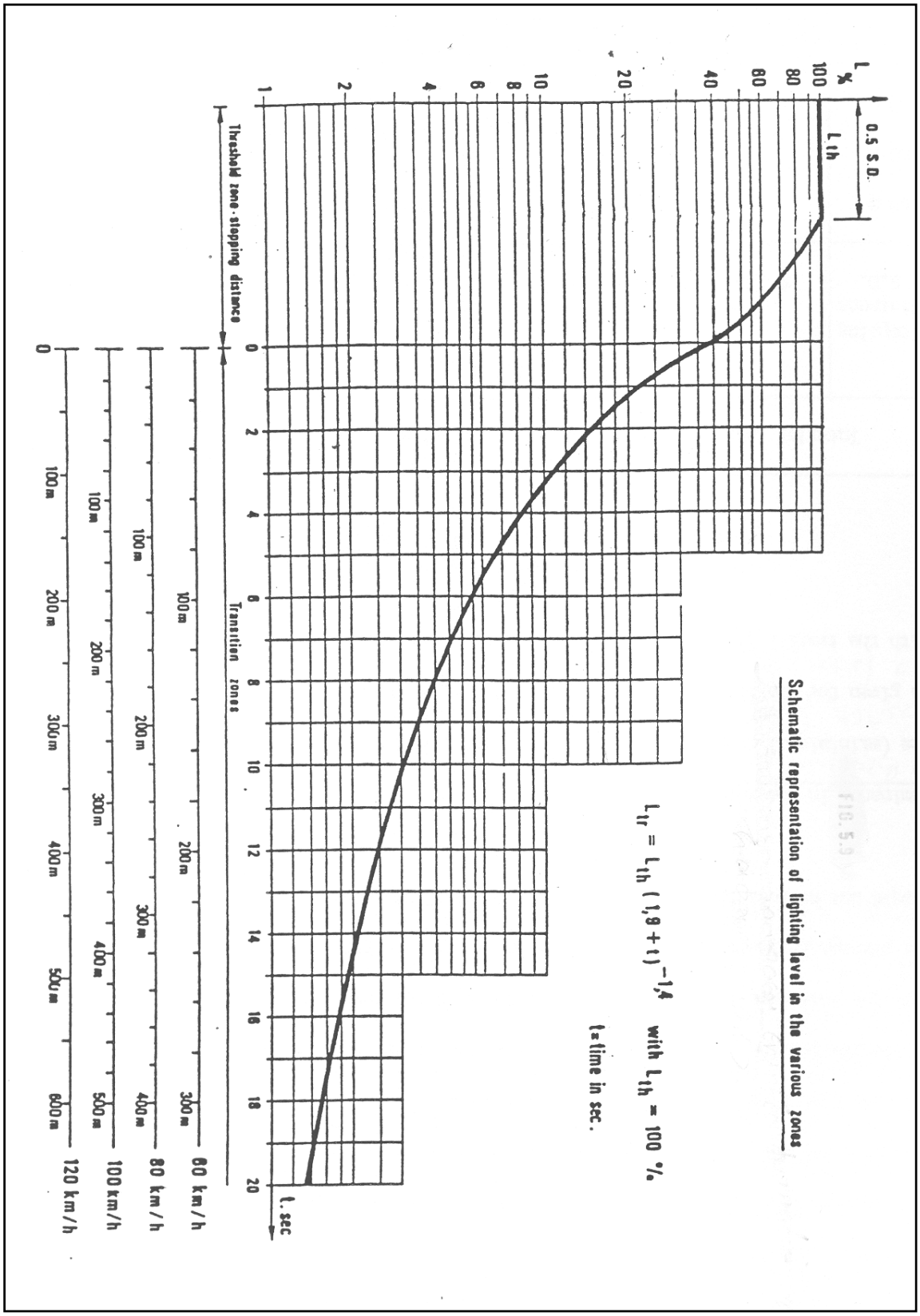
- Η μεταβατική ζώνη μπορεί να είναι κάπως πιο μικρή απ' αυτή που σημειώνεται στο Σχήμα 6.5 όταν:
    1. Η ζώνη κατωφλίου έχει σταθερή λαμπρότητα
    2. Η λαμπρότητα στην κεντρική ζώνη είναι υψηλότερη απ' αυτή που απαιτείται

Δεν είναι δυνατό στο παρόν, να σημειωθεί ακριβώς πόσο μεγάλη μπορεί να είναι η απόκλιση απ' την καμπύλη του Σχήματος 6.5. Επιπλέον έρευνα σε αυτή την περιοχή είναι σε πρόοδο. Είναι αναμενόμενο ότι αυτή η έρευνα θα οδηγήσει σε πιο επακριβής κανονισμούς στο κοντινό μέλλον.

Στην εφαρμογή του Σχήματος 6.5, **το τέλος της μεταβατικής ζώνης φτάνει όταν η λαμπρότητα είναι ίση με τρεις φορές της λαμπρότητας της κεντρικής ζώνης.**



Σχήμα 6.5 **Διάγραμμα Schreuder**



Σχήμα 6.6 : **Διάγραμμα Schreuder**

6.5.6 Λαμπρότητα στην Εσωτερική Κεντρική Ζώνη

Στην εσωτερική ζώνη κατά τη διάρκεια της ημέρας απαιτείται μεγάλο επίπεδο φωτισμού, το οποίο διατηρείται σταθερό σε όλο της το μήκος. Το επίπεδο λαμπρότητας στην κεντρική ζώνη δίνεται από τον **Πίνακα 6.5**: Προτεινόμενες τιμές λαμπρότητας για την κεντρική ζώνη (cd/m^2) , ανάλογα με την απόσταση πεδήσεως και την κυκλοφοριακή ροή.

Η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων της σήραγγας μέχρι το ύψος των 2m δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου.

Η οπτική προσαρμογή σε στοιχεία με άπλετο φως είναι γρήγορη και για το λόγο αυτό δεν απαιτείται επιπλέον φωτισμός στην έξοδο της σήραγγας. Παρόλα αυτά πρόσθετος φωτισμός μπορεί να είναι χρήσιμος:

1. Για να διακρίνουν οι οδηγοί μικρά οχήματα πίσω από μεγαλύτερα εξαιτίας του φαινομένου της θάμβωσης από το έντονο φως της εξόδου.
2. Για να μπορούν οι οδηγοί εξερχόμενοι από τη σήραγγα να έχουν επαρκή ορατότητα, ιδίως όσον αφορά την προσπέραση.

Πίνακας 6.5: **Προτεινόμενες τιμές λαμπρότητας για την κεντρική ζώνη (cd/m^2)**

Μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου στην κεντρική ζώνη (cd/m^2)			
	Κυκλοφοριακή ροή		
Απόσταση πεδήσεως (m)	**Χαμηλή <100 οχήματα/ώρα**	**Μέτρια >100 οχήματα/ώρα <1000 οχήματα/ώρα**	**Υψηλή >1000 οχήματα/ώρα**
160	5	10	15
100	2	4	6
60	1	2	3

6.5.7 Λαμπρότητα στην Ζώνη Εξόδου

Επειδή η οπτική προσαρμογή σε μεγάλες λαμπρότητες είναι αστραπιαία, δεν απαιτείται επιπλέον φωτισμός στις εξόδους των σηράγγων.

Παρ' όλα αυτά πρόσθετος φωτισμός στην ζώνη εξόδου μπορεί να είναι χρήσιμος:

- Για μεγαλύτερη ευκρίνεια των προπορευόμενων αυτοκινήτων, αλλιώς τα μικρά οχήματα δεν φαίνονται λόγω της θάμβωσης που δημιουργείται από το φως της εξόδου. Ώστε οι οδηγοί που εγκαταλείπουν τη σήραγγα, να μπορούν ευκρινώς να δουν μέσα από τον καθρέφτη τους τα οχήματα που βρίσκονται πίσω από αυτούς, ειδικά όταν πρόκειται να κάνουν προσπέραση.

Πολλές φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας η έξοδος της σήραγγας εμφανίζεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού σαν μια φωτεινή οπή. Συνήθως όλα τα εμπόδια γίνονται ορατά από τη σιλουέτα τους σε σχέση με το φωτεινό φόντο της εξόδου. Αυτή όμως η

ορατότητα μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω επενδύοντας τα τοιχώματα της σήραγγας με κάποια ειδική ανακλαστική μπογιά ή με πλακίδια και πλαίσια, τα οποία έχουν υψηλό συντελεστή ανάκλασης και τα οποία βοηθούν τη διείσδυση του φωτός της ημέρας στο εσωτερικό της σήραγγας.

Στην περίπτωση που υπάρχει σήραγγα μιας κατεύθυνσης, όταν η κυκλοφορία είναι μεγάλη, αυτοκίνητα και ειδικά τα φορτηγά μπορεί να εμποδίζουν την οπτική επαφή με την έξοδο. Αν υπό αυτές τις συνθήκες οι τοίχοι (και η οροφή) δεν είναι αρκετά φωτεινά ώστε να αντανακλάται το φως της ημέρας απ' την έξοδο της σήραγγας στο τελευταίο τμήμα αυτής, μπορεί να είναι επιθυμητό να τοποθετηθεί τεχνητός φωτισμός για τα τελευταία 60m της σήραγγας και να είναι 5 φορές μεγαλύτερος απ' το φωτισμό στην κεντρική ζώνη.

Κάτω από συνήθεις συνθήκες κατά τη διάρκεια της ημέρας, το φως του ήλιου μπορεί να διεισδύει κατευθείαν μέσα από την έξοδο της σήραγγας, δημιουργώντας μια εξαιρετικά δύσκολη οπτική κατάσταση. Με τη χρήση όμως τοιχωμάτων υψηλής ανακλαστικότητας, έχουμε σαν αποτέλεσμα αξιοσημείωτες τιμές ανάκλάσης, που εμποδίζουν τον αυτοκινητιστή να προσδιορίσει καθαρά το περίγραμμα της σήραγγας. Έτσι δημιουργείται μια κατάσταση όπου ένα εμπόδιο γίνεται δύσκολα ορατό. Κάτω από αυτές τις συνθήκες μπορεί να μην γίνει αντιληπτό ακόμα και το περίγραμμα ενός αντικειμένου, με αποτέλεσμα μια επικίνδυνη κυκλοφοριακή κατάσταση. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση ειδικών φίλτρων, καθώς και μειωτών φωτός στην έξοδο της σήραγγας.

6.6 Νυχτερινός Φωτισμός

- Αν η σήραγγα είναι μέρος φωταγωγημένου δρόμου, ο φωτισμός μέσα στη σήραγγα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με τον φωτισμό και την ομοιομορφία των οδών προσπέλασης.

- Αν η σήραγγα είναι μέρος ενός μη φωταγωγημένου δρόμου, είναι απαραίτητο μέσα στη σήραγγα να επιτευχθεί μια μέση λαμπρότητα L_{av} της τάξης της 1 cd/m^2 , ολική ομοιομορφία L_{min}/L_{av} = 0,4 και κατά μήκος ομοιομορφία φωτισμού L_{min}/L_{max} = 0,6 για κάθε λωρίδα της σήραγγας. Αυτό επίσης εφαρμόζεται και σε μικρές σήραγγες χωρίς φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας.

- Μετά την έξοδο από τη σήραγγα, ο δρόμος πρέπει να είναι φωταγωγημένος τουλάχιστον κατά μήκος τμήματος που διανύεται με την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα του οχήματος, για τουλάχιστον 5 sec. Η μέση λαμπρότητα του δρόμου δεν πρέπει να είναι λιγότερη από το 1/3 της λαμπρότητας μέσα στη σήραγγα, κοντά στην έξοδο αυτής.

- Στην περίπτωση που στην είσοδο ή στην έξοδο της σήραγγας τοποθετηθούν πετάσματα σκίασης, το σύστημα νυχτερινού φωτισμού στο κέντρο της σήραγγας θα πρέπει να συνεχιστεί και κάτω από τα πετάσματα σκίασης.

6.7 Ομοιομορφία - Θάμβωση - Φωτεινή Πάλμωση

6.7.1 Ομοιομορφία (Uniformity)

Πρέπει να παρέχεται καλή ομοιομορφία όσον αφορά τη λαμπρότητα, τόσο στο οδόστρωμα όσο και στους τοίχους μέχρι ύψους 2m. Τα χαμηλότερα τμήματα των τοίχων δρουν σαν φόντο για την κυκλοφορία, όπως και ο δρόμος, έτσι και τα δύο πρέπει να ληφθούν υπόψη με τον ίδιο τρόπο.

Ένας λόγος της τάξης του 0,4 της ελάχιστης προς τη μέση τιμή της λαμπρότητας του οδοστρώματος και των τοίχων μέχρι ύψους δύο μέτρων σε καθαρές συνθήκες της σήραγγας, είναι ικανοποιητικός.

Επίσης όσον αφορά τη διαμήκη ομοιομορφία συστήνεται ένας λόγος της τάξης του 0,6 κατά μήκος κάθε λωρίδας κυκλοφορίας του δρόμου.

Στην περίπτωση που έχουμε ασύμμετρο σύστημα φωτισμού, ο φωτισμός των τοίχων γίνεται έτσι ώστε αφενός να παρέχεται επαρκώς φωτεινός φόντος, αφετέρου να αποφεύγεται μεγάλη αντανάκλαση απ' τους τοίχους κάτι το οποίο θα οδηγούσε σε μείωση του λόγου L/E_v.

6.7.2 Περιορισμός της Θάμβωσης (Glare)

Για τη μείωση των επιδράσεων του φαινομένου της θάμβωσης η προσαύξηση κατωφλίου **TI** πρέπει να είναι **<u>μικρότερη από το 15%</u>** <u>για όλες τις ζώνες</u> μέσα στη σήραγγα, με εξαίρεση την τιμή της ζώνης εξόδου. Η τιμή του TI υπολογίζεται από τις εξισώσεις :

$$TI = (65\ L_V) / L_R^{0.8} \qquad (6.4)$$

$$TI = (95\ L_V) / L_R^{1.05} \qquad (6.5)$$

L_R : η μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος και των τοιχωμάτων που αποτελούν το φόντο.

L_V : η λαμπρότητα πέπλου που δημιουργείται από όλους τους φωτισμούς του πεδίου όρασης ως τις 20° πάνω από την οριζόντιο.

6.7.3 Αποφυγή της Φωτεινής Πάλμωσης (Flicker)

Η εντύπωση της φωτεινής πάλμωσης δημιουργείται όταν οδηγούμε μέσα σε ένα χώρο όπου γίνονται περιοδικές αλλαγές της λαμπρότητας, οι οποίες οφείλονται τόσο στους φεγγίτες που μπορεί να υπάρχουν στους τοίχους της σήραγγας όσο και στη λάθος απόσταση μεταξύ των φωτιστικών. Η οπτική δυσαρέσκεια που οφείλεται στη φωτεινή πάλμωση εξαρτάται από:

(α). Τον αριθμό των εναλλαγών της λαμπρότητας κάθε δευτερόλεπτο (συχνότητα φωτεινής πάλμωσης).

(β). Την ολική διάρκεια αυτής της εμπειρίας.

(γ). Τον ρυθμό αλλαγής από το φως στο σκοτάδι σε μια χρονική περίοδο.
(δ). Τον λόγο της αιχμής (φως) προς το κατώτατο (σκοτάδι) σημείο λαμπρότητας μέσα σε μια περίοδο (ρύθμιση έντασης λαμπρότητας)

Τα (α), (β), και (γ) εξαρτώνται από την ταχύτητα των οχημάτων και την απόσταση μεταξύ των φωτιστικών.
Τα (γ) και (δ) εξαρτώνται από τα οπτικά χαρακτηριστικά και την απόσταση των φωτιστικών.

Γενικά, η φωτεινή πάλμωση είναι αμελητέα για συχνότητες κάτω από 2.5Hz και πάνω από 15Hz.

Όταν η απόσταση μεταξύ του τέλους της άμεσα φωτιζόμενης περιοχής ενός φωτιστικού και της αρχής της φωτιζόμενης περιοχής του επόμενου φωτιστικού είναι μικρότερη από το μήκος αυτής της άμεσα φωτιζόμενης περιοχής, η λαμβανόμενη πάλμωση είναι αμελητέα τουλάχιστον σε σχέση με τον τεχνητό φωτισμό.

Για να υπολογίσουμε τη συχνότητα της φωτεινής πάλμωσης εντός μιας σήραγγας, διαιρούμε την ταχύτητα σε m/sec, με την απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σε m.

Αν η μικρότερη ταχύτητα σχεδιασμού είναι V= 60 km/h = 16,6 m/sec και η μεγαλύτερη είναι V= 100 km/h = 27,7 m/sec, οι απόστασεις μεταξύ των φωτιστικών που προκαλούν Φωτεινή Πάλμωση είναι οι μικρότερες από 27,7/2,5=11,1m και οι μεγαλύτερες από 16.6/15=1,11m.

Έτσι για τις ταχύτητες αυτές τοποθετούμε τα φωτιστικά σώματα σε αποστάσεις μικρότερες από 1,11m και μεγαλύτερες από 11,1m.

6.8 Λειτουργία και Συντήρηση Συστήματος Φωτισμού Σηράγγων

6.8.1 Φωτισμός ημέρας και έλεγχος φωτισμού

Η λαμπρότητα της ζώνης προσέγγισης μεταβάλλεται ανάλογα με τις αλλαγές στις συνθήκες φωτός της ημέρας. Καθώς τα ιδανικά επίπεδα λαμπρότητας στις ζώνες κατωφλίου και μετάβασης είναι ποσοστά της λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης είναι απαραίτητο να παρέχεται ένας αυτόματος έλεγχος στον τεχνητό φωτισμό των ζωνών αυτών. Το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο στη ζώνη κατωφλίου μπορεί να καθορίζεται συνεχώς από τις στιγμιαίες τιμές της L_{20} της ζώνης προσέγγισης πολλαπλασιαζόμενη με το συντελεστή λαμπρότητας κ. Από την L_{20} και το k προκύπτει η στιγμιαία τιμή της λαμπρότητας L_{th} στη ζώνη κατωφλίου.

Η λαμπρότητα L_{20} είναι η μέση λαμπρότητα που περιέχεται στο κωνικό πεδίο ανοίγματος 20^0 με κορυφή το μάτι του οδηγού, και για αυτό το λόγο πρέπει να μετριέται από μια απόσταση ίση με την απόσταση πέδησης από την είσοδο της σήραγγας με τέτοιο τρόπο ώστε το πεδίο μέτρησης να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να βρεθεί η πραγματική τιμή της L_{2O}. Ο λόγος k δίνεται από τον πίνακα 6.3.

Για λόγους συντήρησης ο μετρητής λαμπρότητας πρέπει να τοποθετείται σε ύψος από 2 ως 5 μέτρα πάνω από το πεζοδρόμιο στην κοντινή πλευρά του δρόμου αν ο δρόμος ταχείας κυκλοφορίας δεν κάνει καμπύλη προς αυτή τη πλευρά. Στην αντίθετη περίπτωση ο μετρητής λαμπρότητας πρέπει να τοποθετηθεί σε μια κεντρική περιοχή ή εκτός δρόμου. Ο μετρητής λαμπρότητας πρέπει να μετράει τη μέση τιμή

από το μετρητικό πεδίο και να διορθώνεται κατά V_λ. Η ευαισθησία του στην θερμοκρασία πρέπει να είναι η ελάχιστη κι ακόμη καλό θα είναι να έχει μεγάλης διάρκειας σταθερότητα.

Η ενεργός λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου εξαρτάται απ' τη ρύθμιση των κυκλωμάτων που τροφοδοτούν τα φωτιστικά. Για την ακριβή γνώση της λαμπρότητας στη ζώνη κατωφλίου, η οποία λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή που δημιουργείται από καμένους λαμπτήρες και την ανακλαστικότητα του οδοστρώματος, η λαμπρότητα στην κεντρική ζώνη μπορεί να μετρηθεί με ένα δεύτερο μετρητή.

Η διαφορά μεταξύ της απαιτούμενης λαμπρότητας L_{th} και της ενεργού λαμπρότητας στη ζώνη κατωφλίου είναι το κριτήριο με το οποίο γίνεται η επιλογή του επιπέδου φωτισμού.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η ενεργός λαμπρότητα δεν μπορεί να μετρηθεί από τη θέση του οδηγού ενός οχήματος. Για πρακτικούς λόγους το ύψος πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ψηλότερο φορτηγό π.χ. πάνω από 4,5m.

Για αυτό η μετρούμενη τιμή είναι διαφορετική απ' την τιμή της λαμπρότητας που βλέπει ο οδηγός. Έτσι πρέπει να μετράται μια φορά το χρόνο ένας συντελεστής διόρθωσης και να συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς.

Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την ανακλαστικότητα του πεζοδρομίου. Γενικά, <u>όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ L_{th} και της ενεργού λαμπρότητας της ζώνης κατωφλίου</u>, γίνεται <u>καλύτερος έλεγχος</u> και τα <u>τρέχοντα έξοδα μειώνονται</u>. <u>Όσο περισσότερα είναι τα βήματα,</u> τόσο <u>γίνεται καλύτερος έλεγχος</u>. Για κάθε εγκατάσταση, η πιο οικονομική λύση έχει να κάνει με την εξοικονόμηση της ενέργειας, τους λαμπτήρες και το εργατικό κόστος. Σε πολλές περιπτώσεις τα βήματα φωτισμού κυμαίνονται από 10 - 25 cd/m^2. Πρέπει να δοθεί προσοχή στην απόκριση των διαφόρων στοιχείων του συστήματος φωτισμού. Το σύστημα ελέγχου πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις πιο ταχείες μεταβολές του φωτισμού που συναντώνται στην πράξη. Για παράδειγμα ο χρόνος ανταπόκρισης σε πλήρη φωτισμό από μία ενεργειακή λυχνία (λυχνία για εξοικονόμηση ενέργειας) είναι τυπικά μεγάλος (3 λεπτά για HPS λαμπτήρες και 15 λεπτά για λαμπτήρες LPS), παρ' όλα αυτά μπορεί να υπάρξουν ακαριαίες αλλαγές της λαμπρότητας του ουρανού που προκαλούνται από την απόκρυψη του ήλιου από ένα βουνό ή ένα κτίριο. Ακαριαίες μεταβολές μικρής διάρκειας του L_{20} που προκαλούνται όταν η ανατολή ή η δύση γίνεται πίσω από κτίρια ή βουνά, το σύστημα πρέπει να ανταποκρίνεται σε ανάλογο χρόνο. Στο σύστημα φωτισμού πρέπει να καταδεικνύεται η πραγματική τιμή της L_{20}, η ενεργός λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου και το πρόγραμμα φωτισμού. Για τη διασφάλιση της ποιότητας συνίσταται η εκτύπωση αυτών των τιμών ή η ύπαρξη στατιστικής κατανομής.

Σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα σύστημα παροχής ενέργειας για τη διασφάλιση της ύπαρξης ενός ελάχιστου φωτισμού. Επίσης, σε τέτοιες περιπτώσεις θα ήταν επιθυμητή η τοποθέτηση προειδοποιητικής πινακίδας μερικά μέτρα έξω από τη σήραγγα που θα υποδεικνύει στους οδηγούς να μειώσουν την ταχύτητα κίνησης τους.

Σε έκτακτες περιπτώσεις διακοπής ενέργειας ο φωτισμός της σήραγγας θα πρέπει να επανέλθει σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για να επιτευχθεί αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο ανεξάρτητα συστήματα τροφοδοσίας, τα οποία θα τροφοδοτούν το καθένα μέρος της εγκατάστασης φωτισμού. Βέβαια αυτή η λύση δεν θα έχει κανένα αποτέλεσμα σε μία γενική διακοπή της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Μία άλλη λύση είναι η χρήση μπαταριών και γεννήτριας. Η επιλογή γίνεται σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες και τα αντίστοιχα κόστη.

6.8.2 Συντελεστής Συντήρησης

Ο γενικός συντελεστής συντήρησης αναφέρεται στη μείωση της απόδοσης της εγκατάστασης φωτισμού μιας σήραγγας από την κατάσταση που είναι καινούρια στην χειρότερη αποδεκτή κατάσταση. Η μείωση της απόδοσης της εγκατάστασης φωτισμού οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Πτώση της απόδοσης του φωτιστικού λόγω γήρανσης. Μετά από κάποιες χιλιάδες ώρες λειτουργίας η απόδοση του φωτιστικού αρχίζει σταδιακά να μειώνεται φτάνοντας τελικά στο 0.7 της αρχικής του τιμής όπου καθίσταται ακατάλληλο και επιβάλλεται η αντικατάστασή του.
- Λαμπτήρες που μετά από κάποιο διάστημα αποτυγχάνουν να ανάψουν (αστοχία έναυσης των λαμπτήρων).
- Συσσώρευση σκόνης και καυσαερίων - ακαθαρσιών γενικότερα - στα φωτιστικά σώματα.
- Συσσώρευση σκόνης και καυσαερίων στα τοιχώματα της σήραγγας.

Σε κάθε μία από τις παραπάνω αιτίες μπορεί να αντιστοιχηθεί ένας επιμέρους συντελεστής, το γινόμενο των οποίων διαμορφώνει τον γενικό συντελεστή συντήρησης. Σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική **κατά τη φάση του σχεδιασμού χρησιμοποιείται ένας γενικός συντελεστής συντήρησης ίσος με 0.7**. Αυτό σημαίνει ότι η λαμπρότητα του δρόμου μέσα στη σήραγγα δεν πρέπει να μειωθεί ποτέ κάτω από το 0.7 της αρχικής τιμής της και επομένως ο προγραμματισμός συντήρησης γίνεται έτσι ώστε να εξασφαλισθεί αυτή η προϋπόθεση.

Ο προγραμματισμός συντήρησης περιλαμβάνει:

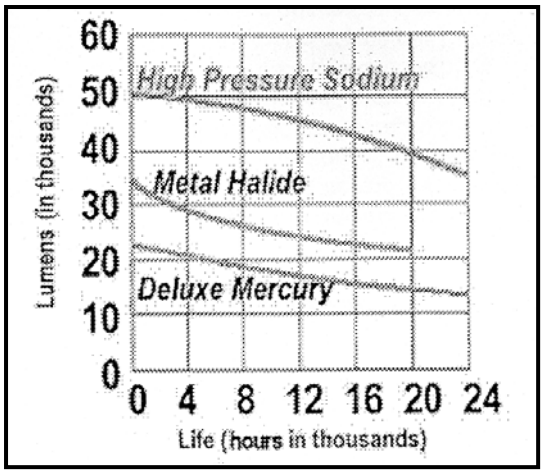
1) **Προγραμματισμός αλλαγής των λαμπτήρων** είτε αυτών που έχουν καεί είτε αυτών που η απόδοσή τους έχει μειωθεί κάτω από το 0.7 ανάλογα με το χρόνο λειτουργίας τους και τον αριθμό των επανεκκινήσεων τους.

Για παράδειγμα στο **Σχήμα 6.7** δίνεται η μεταβολή της απόδοσης ενός λαμπτήρα HPS 50000 lumens (400W) σε σχέση με την διάρκεια ζωής του (24000h) λαμβάνοντας υπόψη μόνο την γήρανση του. Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι η απόδοση του λαμπτήρα θα μειωθεί στο 85% μετά από 17000 h λειτουργίας, στο 80% μετά από 19000 h και στο 70% μετά από 24000 h λειτουργίας.

Οι λαμπτήρες φθορισμού θα πρέπει να αλλάζονται μετά από 8000 ώρες λειτουργίας γιατί σε εκείνο το σημείο αρχίζει να πέφτει σημαντικά η απόδοσή τους Σε περιπτώσεις όπου κάθε φωτιστικό έχει δύο λαμπτήρες και κατά τη νύχτα λειτουργεί μόνο ο ένας θα πρέπει η χρήση τους να γίνεται εναλλάξ ώστε να αποφευχθεί η μείωση της απόδοσης του ενός λαμπτήρα νωρίτερα.

Καλό θα είναι να καταστρωθεί ένα πρόγραμμα αλλαγής των λαμπτήρων με βάση την καταγραφή του αριθμού των μεταβάσεων από το ένα επίπεδο φωτισμού στο άλλο και κατά συνέπεια τη συχνότητα χρήσης των λαμπτήρων. Στην καταγραφή των πληροφοριών αυτών μπορεί να βοηθήσει καταλυτικά το σύστημα ανάδρασης-ελέγχου που θα αναπτυχθεί στην παράγραφο 6.10.3 σε συνδυασμό με όσα αναφέρθηκαν στη παράγραφο 6.8.1.

Για τη μείωση του κόστους συντήρησης χρησιμοποιούνται φωτιστικά σώματα που με απλούς και σύντομους χειρισμούς επιτρέπουν τη γρήγορη αντικατάσταση των λαμπτήρων.



Σχήμα 6.7 **Τυπική καμπύλη γήρανσης λαμπτήρα HPS**

2) Προγραμματισμός καθαρισμού των τοιχωμάτων και των φωτιστικών σωμάτων.

Ο συχνός καθαρισμός της σήραγγας έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσα σε αυτήν είναι πολύ υψηλά, με αποτέλεσμα τα φωτιστικά σώματα και τα τοιχώματα να ρυπαίνονται γρήγορα. Η συχνότητα του καθαρισμού για τη διατήρηση της απόδοσης της εγκατάστασης φωτισμού πάνω από τον προκαθορισμένο συντελεστή συντήρησης αποτελεί συνάρτηση της φύσης και της πυκνότητας της κυκλοφορίας της σήραγγας και αυξάνεται ανάλογα με αυτόν.

Το ακριβές πρόγραμμα καθαρισμού τους καθορίζεται στη φάση της σχεδίασης του φωτισμού και έχει άμεση σχέση με το συντελεστή συντήρησης που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των επιπέδων φωτισμού. Επίσης, θα πρέπει να μελετηθεί εξαρχής ο τρόπος καθαρισμού, αφού έχει να κάνει άμεσα με την θέση των φωτιστικών.

Ο συντελεστής συντήρησης εκφράζει την μείωση του φωτεινού αποτελέσματος των φωτιστικών και των συντελεστών ανάκλασης των διαφόρων επιφανειών λόγω της σκόνης και των ρύπων που προκαλούνται από τα αυτοκίνητα. Μία λογική και συνηθισμένη τιμή είναι το 0.7. Αυτό σημαίνει ότι η λαμπρότητα του δρόμου μέσα στη σήραγγα δεν πρέπει να πέσει κάτω από το 0.7 της αρχικής της τιμής και ο προγραμματισμός του καθαρισμού θα πρέπει να γίνει έτσι ώστε να εξασφαλισθεί αυτή η προϋπόθεση.

Η συχνότητα του καθαρισμού εξαρτάται από τον συντελεστή συντήρησης ο οποίος με τη σειρά του αποτελεί συνάρτηση των διαστάσεων της σήραγγας, της φύσης και της πυκνότητας της κυκλοφορίας και του κόστος της συντήρησης. Στην πράξη η συχνότητα αυτή μπορεί να κυμαίνεται από μία εβδομάδα έως και έξι μήνες. Πάντως συνίσταται σε σήραγγα με μεγάλη πυκνότητα κυκλοφορίας ο καθαρισμός των φωτιστικών και των τοίχων να γίνεται τουλάχιστον κάθε δύο μήνες. Η χρήση όμως ενός συντελεστή 0.7 ή μικρότερου μπορεί να αυξήσει υπερβολικά την κατανάλωση ενέργειας ιδιαίτερα σε σήραγγες με μεγάλες απαιτήσεις σε φωτισμό. Πρέπει να μελετηθούν παράλληλα το κόστος καθαρισμού με την εξοικονόμηση ενέργειας από αυτό, ώστε να βρεθεί η πλέον συμφέρουσα λύση.

Στις περισσότερες σήραγγες τα υψηλότερα επίπεδα φωτισμού χρησιμοποιούνται μόνο το καλοκαίρι με αποτέλεσμα αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια. Επομένως για την εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί διαφορετικός συντελεστής συντήρησης για το καλοκαίρι από αυτόν για το χειμώνα. Με αυτόν τον τρόπο βρέθηκε ότι κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί μέχρι και 15%.

Ένας τρόπος ελέγχου της αποδοτικότητας του προγράμματος καθαρισμού είναι η μέτρηση της λαμπρότητας των τοίχων. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις μπορεί αυτή η λαμπρότητα να μετρηθεί με ειδικό αισθητήριο, ώστε να έχουμε πάντα σταθερό συντελεστή $k = L_{th} / L_{20}$ ανεξάρτητα από το πόσο καιρό έχει να καθαριστεί η σήραγγα.

Στις σήραγγες το φόντο πάνω στο οποίο φαίνονται τα διάφορα αντικείμενα είναι συνήθως η επιφάνεια του δρόμου. Ανάλογα όμως με την καμπυλότητα μπορεί το φόντο αυτό να είναι οι τοίχοι ή ακόμα και η οροφή. Οι τοίχοι αποτελούν μεγάλο ποσοστό του οπτικού πεδίου του οδηγού, για αυτό και η λαμπρότητα τους δεν πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή του δρόμου τουλάχιστον μέχρι και ύψος 2m από το οδόστρωμα. Θα πρέπει λοιπόν να καλύπτονται από υλικά με υψηλή ανάκλαση π.χ 0.6. Θα πρέπει να προσεχθεί η επίστρωση των τοίχων, ώστε να μην είναι από υλικό που από την αντανάκλαση των φωτιστικών ή του φωτός των προβολέων των αυτοκινήτων θα δημιουργεί λάμψη που θα τυφλώνει τους οδηγούς. Το υλικό αυτό θα πρέπει να είναι σκληρό και ανθεκτικό και κυρίως να καθαρίζεται εύκολα, ώστε να αποδίδει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα λαμπρότητας με την προϋπόθεση μίας λογικής συχνότητας συντήρησης και καθαρισμού. Όσον αφορά την οροφή πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή λερώνεται πιο εύκολα από κάθε άλλη επιφάνεια, καθώς όλα τα καυσαέρια κατευθύνονται εκεί. Αν είναι δυνατόν καλό θα ήταν ένα μικρό ποσοστό του φωτός να οδηγείται απευθείας από τα φωτιστικά στην οροφή.

Λόγω της αναγκαιότητας του συχνού καθαρισμού των φωτιστικών σωμάτων και των τοιχωμάτων χρησιμοποιείται δέσμη νερού υψηλής πίεσης για τη μείωση του χρόνου καθαρισμού. Έτσι η επιλογή τόσο της βαφής των τοιχωμάτων όσο και των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που επικρατούν στο εσωτερικό της σήραγγας καθώς και το συχνό καθαρισμό με δέσμη νερού υψηλής πίεσης. Για τα φωτιστικά σώματα, πιο ειδικά, πρέπει να είναι κατασκευασμένα από ανθεκτικά και ανοξείδωτα υλικά και ο βαθμός προστασίας τους (IP) να είναι τουλάχιστον ίσος με IP66.

Για τον έλεγχο της αποδοτικότητας του προγράμματος καθαρισμού και συντήρησης αλλά και της συνεχούς εποπτείας της εγκατάστασης φωτισμού έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι η απόδοσή της δεν θα μειωθεί ποτέ κάτω από το προκαθορισμένο ποσοστό συντήρησης, κρίνεται αναγκαία η τοποθέτηση αισθητήρων λαμπρότητας στις διάφορες ζώνες της σήραγγας όπου προτείνεται ένα σύστημα ανάδρασης όπως λεπτομερώς αναλύεται στην επόμενη παράγραφο.

Κατά την διάρκεια σύσκεψης η οποία πραγματοποιήθηκε με την συμμετοχή εκπροσώπων της Εγνατίας Οδού Α.Ε. και μελών του Βρετανικού Οργανισμού Διαχείρισης Σηράγγων αναφέρθηκε από τους τελευταίους ότι στην Μεγάλη Βρετανία γίνεται προσπάθεια να διατηρείται ο συντελεστής συντήρησης της εγκατάστασης φωτισμού στο 0.8-0.85. Η διατήρηση του συντελεστή σε αυτά τα επίπεδα αναφέρθηκε ότι παρουσιάζει εντυπωσιακά αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας. Η υιοθέτηση λοιπόν ενός μεγαλύτερου γενικού συντελεστή συντήρησης 0.85 κατά τη φάση του σχεδιασμού οδηγεί σε μείωση του κόστους εγκατάστασης και σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία της σήραγγας, αυξάνοντας όμως το κόστος συντήρησης. Η παράλληλη μελέτη του κόστους εγκατάστασης και της

εξοικονόμησης ενέργειας με το κόστος συντήρησης οδηγεί στο να βρεθεί η πλέον συμφέρουσα λύση.

6.9 Σύνοψη κανονισμού CIE 88-1990

Ο στόχος του φωτισμού μιας σήραγγας είναι να εξασφαλισθεί ότι οι οδηγοί τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια τη νύχτας μπορούν να προσεγγίσουν και να περάσουν την σήραγγα με την κατάλληλη ταχύτητα και με ένα συγκεκριμένο βαθμό ασφάλειας και άνεσης, όπως και στους ανοικτούς δρόμους.
Τα κύρια φωτομετρικά χαρακτηριστικά που αναφέρονται στους κανονισμούς της CIE 88-1990 είναι τα εξής:

1. Επίπεδα λαμπρότητας οδοστρώματος.
2. Επίπεδα λαμπρότητας τοίχων.
3. Ομοιομορφία φωτισμού.
4. Έλεγχος θάμβωσης (Glare).
5. Αποφυγή φαινομένου φωτεινής πάλμωσης (Flicker).
6. Αντίθεση λαμπρότητας (Contrast) σε περίπτωση ασύμμετρου συστήματος φωτισμού (Counterbeam lighting).

Στον **Πίνακα 6.6:Σύνοψη Κανονισμού Φωτισμού Σηράγγων CIE 88-1990** δίνονται περιεκτικά ο κανονισμός:

Διαχωρισμός Μακριών και Κοντών σηράγγων	Με χρήση Διαγράμματος Ροής-Απόφασης λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες
Μέθοδοι υπολογισμού του L_{20}	Α. Με Πίνακα Β. Με σκαρίφημα για οπτικό πεδίο 20^0
Εναλλακτικές μέθοδοι σχεδιασμού	Με χρήση του L_{seq}(ισοδύναμη λαμπρότητα πέπλου)
Λαμπρότητα Κατωφλίου	**κ X L_{20}** Σταθερή για το πρώτο μισό του μήκους και στη συνέχεια μειώνεται.
Μήκος ζώνης Κατωφλίου	Τουλάχιστον **ίσο** με την απόσταση πεδήσεως **SSD**
Συντελεστής **κ** Συμμετρικού Συστήματος	**0.05-0.10**
Συντελεστής **κ** Ασύμμετρου Συστήματος	**0.04-0.07**
Συντελεστής q_c	**≤0.2 Ασύμμετρο** **≥0.6 Συμμετρικό**
Λαμπρότητα Εσωτερικής ζώνης (την ημέρα)	**1-15 cd/m^2**
Λαμπρότητα ζώνης Εξόδου	**5 L_{int}**
Λαμπρότητα τοιχωμάτων	Ίση με αυτή του οδοστρώματος μέχρι το ύψος των 2m
Λαμπρότητα Νυχτερινού Φωτισμού	Ίση με τη λαμπρότητα του δρόμου προσέγγισης
Μέγιστο Βήμα Λαμπρότητας μεταξύ διαδοχικών ζωνών	**3:1**
Μέγιστο Βήμα Λαμπρότητας μεταξύ διαδοχικών επιπέδων (stages)	**5:1** βέλτιστο το **3:1**
Ομοιομορφία	Συνολική **U_o≥0.4** Διαμήκης **U_l≥0.6**
Glare(TI)	**<15%**
Φωτεινή Πάλμωση	**Αποφυγή** συχνοτήτων **2.5-15 Hz**
Συντελεστής Συντήρησης	**0.7** 1-6 μήνες

6.10 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Στις σήραγγες ενσωματώνεται ένα μεγάλο πλήθος ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων που αφορούν κυρίως την ασφάλεια των χρηστών. Αυτές είναι φωτισμός, αερισμός, ανίχνευση καυσαερίων, πυρανίχνευση, πυρόσβεση, κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης, τηλέφωνα ανάγκης, σηματοδότηση και έλεγχος ύψους οχημάτων.

Από αυτές η πιο ενεργοβόρα λειτουργική εγκατάσταση είναι ο φωτισμός και για τις μεγάλου μήκους σήραγγες και ο αερισμός. Δεδομένου ότι λειτουργεί όλο το εικοσιτετράωρο και την ημέρα είναι ιδιαίτερα ενισχυμένος αντιλαμβανόμαστε την ανάγκη εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω φωτισμού, στις οδικές σήραγγες.

Ακολουθούν και αναπτύσσονται μέθοδοι με τις οποίες μπορούμε να πετύχουμε βέλτιστη λειτουργία τόσο όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και την ασφάλεια των οδηγών με τη μικρότερη δυνατή καταπόνηση της εγκατάστασης.

6.10.1 Διευθυνσιοδοτούμενα (Addressable) Φωτιστικά

Με τις συμβατικές μεθόδους ο σχεδιασμός ενός συστήματος φωτισμού για σήραγγες γίνεται με έναν περιορισμένο αριθμό τμημάτων για κάθε ζώνη της σήραγγας (π.χ Threshold 1, 2…, Transition 1, 2 κτλ). Αυτό συμβαίνει γιατί για τον έλεγχο των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας περιορισμένος αριθμός κυκλωμάτων φωτισμού. Εάν αυτός ο αριθμός είναι πολύ μεγάλος τότε ο σχεδιασμός του συστήματος παρουσιάζει δυσκολίες. Ταυτόχρονα αυξάνεται αισθητά το κόστος εγκατάστασης, δεδομένου ότι το κάθε κύκλωμα φωτισμού τροφοδοτείται με καλώδια τα οποία αναχωρούν από κάθε υποπίνακα και είναι ίσα σε αριθμό με τα επίπεδα λαμπρότητας που έχουν σχεδιαστεί. Επίσης χρησιμοποιούνται ισάριθμα ρελαί σε κάθε υποπίνακα ώστε να ελέγχονται τα αντίστοιχα φωτιστικά σώματα.

Η εναλλακτική λύση είναι η χρήση ενός συστήματος διευθυνσιοδοτούμενων φωτιστικών σωμάτων. Ένα νέο είδος συστήματος αυτοματοποίησης και ελέγχου του φωτισμού σηράγγων που προσφέρει τις δυνατότητες για ένα καλύτερο επίπεδο ασφάλειας, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τις περιορισμένες δαπάνες της εγκατάστασης και της διαχείρισης. Αυτό είναι δυνατό με τον έλεγχο κάθε λαμπτήρα μέσω της χρήσης των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που εγκαθιστούν έναν μικροεπεξεργαστή μέσα. Αρκετοί αισθητήρες εγκαταστάθηκαν και δημιουργήθηκε ειδικό λογισμικό που επιτρέπουν τον έλεγχο των ορίων λειτουργίας κάθε συσκευής φωτισμού και επίσης τη διαχείριση σύμφωνα με τις ανάγκες ασφάλειας. Το συγκεκριμένο σύστημα διαθέτει μια κεντρική μονάδα ελέγχου που έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί και να δίνει εντολές σε κάθε ένα φωτιστικό ξεχωριστά. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα απλό καλώδιο εντολών (bus cable) το οποίο διατρέχει όλο το μήκος της σήραγγας και μεταφέρει τις εντολές του συστήματος ελέγχου σε όλα τα φωτιστικά σώματα. Έτσι με την χρήση του συγκεκριμένου συστήματος είναι δυνατό να τροφοδοτηθούν όλα τα φωτιστικά με τα ελάχιστα απαιτούμενα καλώδια τροφοδοσίας και ταυτόχρονα να ελεγχθούν πλήρως μέσω των σημάτων του καλωδίου ελέγχου.

Η χρήση του συστήματος διευθυνσιοδοτούμενων φωτιστικών μειώνει σε μεγάλο βαθμό τον αριθμό των καλωδίων τροφοδοσίας ενώ εξαλείφει το κόστος των ρελαί περιορίζοντας έτσι σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης φωτισμού. Το βασικό όμως πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η ευελιξία σχεδιασμού που

παρέχεται στο σχεδιαστή της εγκατάστασης. Ο σχεδιαστής δεν υποχρεώνεται να χωρίσει την σήραγγα σε έναν περιορισμένο, μικρό αριθμό τμημάτων για κάθε ζώνη αλλά έχει την ευχέρεια να εφαρμόσει σαφώς περισσότερα τμήματα με κατάλληλο μήκος. Έτσι μπορεί να γίνει μία ακριβέστερη και οικονομικότερη, από άποψη κατανάλωσης ενέργειας, προσέγγιση της καμπύλης λαμπρότητας της CIE.

6.10.2 Σύστημα Αυξομείωσης Φωτισμού (Dimming)

Το σύστημα Αυξομείωσης Φωτισμού μειώνει το φωτισμό μιας εγκατάστασης με στόχο την μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό επιπέδων φωτισμού και την εξοικονόμηση ενέργειας. Η τεχνική του dimming για λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής πίεσης (HID) εφαρμόζεται με δύο συστήματα:

α. Το σύστημα Dimming δύο επιπέδων (50%-100%)

Το σύστημα dimming δύο επιπέδων είναι απλούστερο, φθηνότερο και επιτρέπει μείωση της φωτιστικής απόδοσης του λαμπτήρα στο 50% (λειτουργία στο 100% ή στο 50%). Η προσαρμογή του επιπέδου φωτισμού των σηράγγων στις εκάστοτε εξωτερικές συνθήκες φωτισμού επιτυγχάνεται με ένα προκαθορισμένο αριθμό επιπέδων λαμπρότητας που κυμαίνεται συνήθως από 6 έως 8. Είναι αυτονόητο ότι όσο περισσότερα επίπεδα φωτισμού υπάρχουν, τόσο καλύτερη θα είναι η προσαρμογή αυτή και δε θα καταναλώνεται περιττή ενέργεια. Ο σχεδιασμός όμως ενός συστήματος με αριθμό επιπέδων πάνω από 8, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο 2.1.1.1, είναι αρκετά περίπλοκος και η κατασκευαστική υλοποίησή του παρουσιάζει αυξημένες δυσκολίες.

Με τη χρήση του συστήματος dimming δύο επιπέδων (50% - 100%) μπορούν να επιτευχθούν περισσότερα επίπεδα φωτισμού χωρίς να παρουσιάζονται τα παραπάνω προβλήματα. Συγκεκριμένα, τα φωτιστικά σώματα κάθε επιπέδου μπορούν πλέον να λειτουργούν και στο 50% της φωτιστικής απόδοσής τους με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται διπλάσιος αριθμός επιπέδων σε σχέση με τον κλασικό σχεδιασμό. Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι όταν ένας λαμπτήρας λειτουργεί στο 50% της απόδοσής του δεν καταναλώνει αντίστοιχα το 50% της ονομαστικής του ισχύος αλλά περίπου το 65% αυτής.

β. Το σύστημα συνεχούς Dimming

Συνέχεια της τεχνολογίας dimming δύο επιπέδων (50% - 100%) αποτελεί το σύστημα συνεχούς dimming. Το συνεχές σύστημα dimming μεταβάλλει την φωτιστική απόδοση του λαμπτήρα επιτρέποντας συνεχή μείωση μέχρι το 30%, 50% ή 60% ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο υλοποίησης του συστήματος. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνονται όλες οι τιμές από το 100% μέχρι και το 50% της απόδοσης του λαμπτήρα καταναλώνοντας 100%-65% της ονομαστικής του ισχύος αντίστοιχα. Ο περιορισμός του 50% τίθεται επειδή περαιτέρω μείωση της φωτιστικής απόδοσης του λαμπτήρα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου ζωής του. Έτσι με το σύστημα αυτό ο κάθε λαμπτήρας δεν λειτουργεί πλέον μόνο σε δύο διακριτές τιμές αλλά και σε όλες τις ενδιάμεσες.

Είναι φανερό ότι με τη παραπάνω τεχνολογία δεν υπάρχουν πλέον επίπεδα φωτισμού με αποτέλεσμα η λαμπρότητα που επιτυγχάνεται, και κατά συνέπεια και η κατανάλωση ενέργειας, να προσαρμόζονται συνεχώς στις αναγκαίες τιμές. Επίσης

το σύστημα φωτισμού αποκτά μεγάλη ευελιξία όσον αφορά την προσαρμογή του σε εξωτερικές μεταβολές μικρής διάρκειας (π.χ. παροδικά σύννεφα), σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα που παρουσιάζουν μεγάλη αδράνεια.

6.10.3 Ανάδραση με μετρητές λαμπρότητας και ισχύος φωτισμού

Είναι δεδομένο ότι ο σχεδιασμός της εγκατάστασης φωτισμού μίας σήραγγας γίνεται βάσει μιας θεωρητικής προεργασίας που έχει ως απώτερο στόχο την επίτευξη συγκεκριμένων τιμών λαμπρότητας μέσα στη σήραγγα. Κατά την λειτουργία όμως της εγκατάστασης οι τιμές αυτές αποκλίνουν από τις θεωρητικές που ο σχεδιαστής του συστήματος έχει προκαθορίσει στη φάση του σχεδιασμού. Η απόκλιση αυτή οφείλεται σε κάποιους εξωγενείς παράγοντες οι οποίοι αναφέρθηκαν παραπάνω στην παράγραφο 6.8.2 του συντελεστή συντήρησης καθώς και στην κατάσταση της ασφάλτου που μεταβάλλεται με το χρόνο και επηρεάζει άμεσα την τιμή της ανακλώμενης λαμπρότητας. Αυτοί οι παράγοντες είναι δύσκολο ή και αδύνατο να ληφθούν υπόψη στη φάση του σχεδιασμού και περιλαμβάνονται κατά το δυνατόν, στο συνολικό συντελεστή συντήρησης.

Παρόλα αυτά, δεν τίθεται θέμα ασφάλειας όταν η συντήρηση της σήραγγας γίνεται σωστά, που σημαίνει ότι η απόδοση της εγκατάστασης δεν μειώνεται ποτέ κάτω από το γενικό συντελεστή συντήρησης. Τίθεται όμως θέμα επιπλέον κατανάλωσης ενέργειας. Για παράδειγμα στην αρχή λειτουργίας μιας σήραγγας που έχει σχεδιαστεί με συνολικό συντελεστή συντήρησης 0.7 το σύστημα θα μπορεί να λειτουργεί σχεδόν στο 100% της θεωρητικής απόδοσής του ενώ οι απαιτήσεις για την ασφάλεια θα είναι κοντά στο 70% της λαμπρότητας, που θα επιτυγχάνεται. Είναι σαφές ότι ένα σημαντικό ποσοστό ενέργειας μπορεί να εξοικονομηθεί με κατάλληλο προγραμματισμό του συστήματος.

Ο προγραμματισμός αυτός βέβαια προαπαιτεί να υπάρχει ανάδραση στο σύστημα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός μετρητή λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης L_{20} αλλά και αισθητήρων λαμπρότητας ή ισχύος φωτισμού οι έξοδοι των οποίων θα οδηγούνται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου που θα κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις. Πιο συγκεκριμένα, μια υλοποίηση του συστήματος ανάδρασης είναι η χρήση ενός μετρητή λαμπρότητας L_{20} καθώς και ενός αριθμού αισθητήρων ισχύος φωτισμού σε κάθε ζώνη της σήραγγας. Η επιλογή των αισθητήρων ισχύος φωτισμού σε σχέση με τους αισθητήρες λαμπρότητας προτείνεται λόγω του αισθητά χαμηλότερου κόστους τους. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται γνωστή η απόδοση του συνόλου των φωτιστικών σωμάτων. Με τη χρήση μάλιστα και ενός αισθητηρίου λαμπρότητας σε κάποιο σημείο της σήραγγας το σύστημα θα έχει και πληροφορία για την κατάσταση του οδοστρώματος. Οπότε με τρία αισθητήρια ισχύος φωτισμού και ένα λαμπρότητας δίνεται η δυνατότητα επαρκούς εποπτείας του τι πραγματικά συμβαίνει μέσα στη σήραγγα.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι με το προαναφερθέν σύστημα ανάδρασης είναι γνωστό ανά πάσα στιγμή η κατάσταση του συστήματος φωτισμού και επομένως η αρχή λειτουργίας της σήραγγας μπορεί να προγραμματίζει τη συντήρηση της με το καλύτερο δυνατό τρόπο.

6.10.4 Αξιοποίηση τοίχων και οδοστρώματος σηράγγων

Η επίτευξη του κατάλληλου επιπέδου λαμπρότητας και η ταυτόχρονη εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον φωτισμό μιας σήραγγας γίνεται αξιοποιώντας τόσο

τα τοιχώματα όσο και το οδόστρωμα αυτής.

- **Λαμπρότητα τοιχωμάτων**

Σύμφωνα με το κανονισμό της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού CIE 88-1990, αναφέρεται ότι η μέση λαμπρότητα των τοιχωμάτων της σήραγγας μέχρι ύψους 2m δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου. Για να ικανοποιηθεί η παραπάνω απαίτηση υπολογίζεται η ισχύς φωτισμού (lux) στα τοιχώματα με την χρήση του κατάλληλου πλέγματος (grid) και κατόπιν η τιμή του συντελεστή ανάκλασης των τοιχωμάτων c με χρήση του τύπου:

$$L = \frac{E \times c}{\pi}$$

Όπου L: μέση λαμπρότητα (cd/m^2)
E: φωτεινή ισχύς (lux)
c: συντελεστής ανάκλασης τοιχωμάτων
π=3.14

Ο παραπάνω συντελεστής c είναι ενδεικτικός για τον τύπο του χρώματος που θα πρέπει να βαφούν τα τοιχώματα ώστε να εξασφαλίσουμε μέση λαμπρότητα τουλάχιστον ίση με τη λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω και για την επίτευξη ενός συντελεστή ίσου με 0.6 (τιμή η οποία προτείνεται διεθνώς όπως αναφέρεται στην επόμενη παράγραφο) οι τοίχοι βάφονται με ανοιχτόχρωμη βαφή π.χ. γκρι χρώματος τύπου RAL 9002. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα τοιχώματα θα πρέπει να βαφούν κατάλληλα ώστε κατά τον καθαρισμό τους να αντέχουν σε πλύση με δέσμη νερού υψηλής πίεσης.

Σε κάθε μελέτη θα πρέπει να υπολογίζεται η προσαύξηση της μέσης λαμπρότητας της επιφάνειας του δρόμου εξαιτίας της ανάκλασης των τοιχωμάτων της σήραγγας και αυτό γιατί η ανάκλαση συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη του κατάλληλου επιπέδου μέσης λαμπρότητας και κατά συνέπεια στην εξοικονόμηση ενέργειας. Συγκεκριμένα, για την επιλογή της τιμής του συντελεστή ανάκλασης των τοιχωμάτων λαμβάνεται υπόψη ότι τα τοιχώματα βάφονται μέχρι το ύψος των 4 μέτρων και ότι το βαμμένο αυτό τμήμα των τοιχωμάτων έχει συντελεστή ανάκλασης τουλάχιστον 0.6. Έτσι, για όλο το ύψος των τοιχωμάτων (συνολικά 6m), η τιμή για τον συντελεστή ανάκλασης διαμορφώνεται σε 0.45. Η παραπάνω πρακτική ακολουθείται διεθνώς .

- **Φωτεινά οδοστρώματα**

Για τη διευκόλυνση των υπολογισμών της λαμπρότητας κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης φωτισμού οι επιφάνειες των δρόμων ταξινομούνται ανάλογα με τις ιδιότητες ανάκλασης που παρουσιάζουν με βάση περιγραφικές παραμέτρους. Ένα σύστημα κατάταξης των επιφανειών των δρόμων ομαδοποιεί τις διάφορες επιφάνειες ανάλογα με την τιμή του κατοπτρικού συντελεστή **S1**. Όπως παρουσιάζεται στον **Πίνακα 6.7** επιφάνειες δρόμου με τιμές μικρότερες του 0.4 ανήκουν στην πρώτη κλάση (CI), ενώ οι επιφάνειες με τιμές ίσες ή μεγαλύτερες από 0.4 ανήκουν στη δεύτερη κλάση (CII). Μία παλιότερη κατάταξη πάλι με βάση το

συντελεστή S1 διαχωρίζει τα οδοστρώματα σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.8.**

Πίνακας 6.7 Πρότυπο σύστημα κατάταξης

Κλάση	Όριο συντελεστή S1	Τιμή Q_0
CI	**S1< 0.4**	0.10
CII	**S1≥ 0.4**	0.07

Πίνακας 6.8 Σύστημα κατάταξης R

Κατηγορία	Πίνακας προτύπων τιμών	Όρια S1	Τιμές Q_0
RI	R1	S1<0.42	0.10
RII	R2	0.42 <S1< 0.85	0.07
RIII	R3	0.85 <S1< 1.35	0.07
RIV	R4	1.35 < S1	0.08

Όπως είναι φανερό από τους παραπάνω πίνακες η κλάση RI είναι σχεδόν ίδια με την κλάση CI, ενώ οι RII, RIII, RIV μαζί ανταποκρίνονται στην κλάση CII. Ένα οδόστρωμα είναι τόσο φωτεινότερο και με μεγαλύτερη ανάκλαση όσο ο συντελεστής S1 είναι μικρότερος. Έτσι ένα ασφαλτικό οδόστρωμα (μαύρη άσφαλτος) ανήκει στην κλάση RIII και κατά συνέπεια στην κλάση CII σύμφωνα με το πρότυπο σύστημα κατάταξης. Ένα οδόστρωμα από σκυρόδεμα ανήκει στην κλάση CI.

Ένα ασφαλτικό οδόστρωμα είναι ιδιαίτερα σκοτεινό μετά την επίστρωσή του. Με το πέρασμα του χρόνου όμως και τη χρησιμοποίηση του οδοστρώματος το υλικό της ασφάλτου αποκολλάται από την επιφάνεια και αποκαλύπτονται τα αδρανή συστατικά. Με στόχο την επίτευξη ενός φωτεινότερου ασφαλτικού οδοστρώματος κάποιες χώρες όπως η Δανία καθόρισαν ένα ποσοστό λευκών αδρανών στο ασφαλτικό μείγμα. Στο Βέλγιο η χρήση φωτεινών αδρανών για τον τύπο οδοστρώματος CII είναι υποχρεωτική για τους κύριους δρόμους του οδικού δικτύου. Ελάχιστη τιμή ανάκλασης που απαιτείται είναι 45%. Για την οπτική καθοδήγηση του οδηγού μέσα στις σήραγγες είναι απαραίτητο ο οδικός φωτισμός να μετατρέπει την επιφάνεια του δρόμου σε μια φωτεινή ζώνη στο πεδίο όρασης. Για αυτό το λόγο είναι πλεονέκτημα να επιτυγχάνεται μία υψηλή μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου, καθώς αυτή αυξάνει την ορατότητα των αντικειμένων πάνω στο δρόμο. Έτσι οι επιφάνειες των δρόμων έχουν προτιμότερες ανακλαστικές ιδιότητες όταν επιτυγχάνεται υψηλή μέση λαμπρότητα με τη χρήση σχετικά λίγης ενέργειας. Η εφαρμογή επιφανειών με καλές ανακλαστικές ιδιότητες μπορεί να οδηγήσει στην επιδείνωση της παρατήρησης των συνηθισμένων υλικών διαγράμμισης του δρόμου. Παρόλα αυτά υπάρχουν υλικά για την επίτευξη καλής ορατότητας των διαγραμμίσεων σε φωτεινές επιφάνειες δρόμων σε στεγνές συνθήκες. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η ανάκλαση πρέπει να είναι τέτοια ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις σε σχέση με την ομοιομορφία της λαμπρότητας.

Η λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου αυξάνει με τη μείωση του συντελεστή S1. Διαμορφώνονται έτσι δύο ομάδες οδοστρωμάτων σε σχέση με την τιμή του συντελεστή S1 η μία με S1 < 0.4 και η άλλη με S1 > 0.4. Η τιμή 0.4 είναι το όριο μεταξύ των κατηγοριών CI και CII, στο σύστημα κατάταξης δύο κλάσεων και μεταξύ των RI και RII στο σύστημα κατάταξης 4 κλάσεων. Οι επιφάνειες των

δρόμων των κλάσεων CI και RI, δηλαδή με συντελεστή S1 <0.4 πρέπει να προτιμούνται εξαιτίας της ομοιομορφίας.

Όσον αφορά τα ασφαλτικά μείγματα, δε βρέθηκε σχέση μεταξύ του συντελεστή S1 και του τύπου του ασφαλτικού υλικού και έτσι εξάγεται το συμπέρασμα ότι η σχέση μεταξύ της ανάκλασης του οδοστρώματος και της σύνθεσης του καθορίζεται μόνο με τα χρησιμοποιούμενα στο μείγμα αδρανή υλικά.

6.10.5 Χρήση του φυσικού φωτός ημέρας στις σήραγγες

Το φυσικό φως της ημέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φωτισμό της σήραγγας με τους 3 ακόλουθους τρόπους:

1. Χρήση χαμηλού φωτός ημέρας στο στόμιο εισόδου των μεγάλων σηράγγων με τη χρήση διαφράγματος κάλυψης (σκέπαστρα, γρίλιες).
2. Εφαρμογή φρεατίων φωτός (φωταγωγών) στην οροφή των μικρών σηράγγων.
3. Χρήση φωτός, που εισέρχεται μέσα στη σήραγγα από τις εισόδους της και ανακλάται από τα τοιχώματα και την οροφή.

6.10.5.1 Χρήση σκέπαστρων στην είσοδο των σηράγγων

Βασικό πρόβλημα στις σήραγγες είναι αυτό της προσαρμογής του ματιού του οδηγού στο σκοτεινό περιβάλλον της σήραγγας. Σε αντίθεση με το φωτισμό των οδών ο φωτισμός της σήραγγας είναι περισσότερο κρίσιμος κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς κατά την ημέρα υπάρχει μία μεγάλη διαφορά μεταξύ του επιπέδου της εξωτερικής και της εσωτερικής λαμπρότητας, γεγονός που απαιτεί από τον οδηγό ένα σημαντικό οπτικό έργο για την προσαρμογή του ματιού του σ' αυτές τις ξαφνικές και απότομες μεταβολές φωτός. Έτσι για να επιτευχθεί η προσαρμογή του οδηγού απαιτείται μεγάλο επίπεδο λαμπρότητας στη ζώνη κατωφλίου και κατά συνέπεια πολλά φωτιστικά σώματα και μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Για την επίτευξη της προσαρμογής των οδηγών και την παράλληλη εξοικονόμηση ενέργειας απαιτείται η μείωση των επιπέδων λαμπρότητας στη ζώνη προσέγγισης.
Η μείωση της λαμπρότητας της επιφάνειας του δρόμου στη ζώνη προσέγγισης μπορεί να επιτευχθεί με πρακτικά μέτρα όπως:

- Με την εφαρμογή μαύρης επιφάνειας οδοστρώματος στη ζώνη προσέγγισης.
- Με την εφαρμογή σκοτεινού χρώματος στην είσοδο της σήραγγας και στα πλευρικά τοιχώματα του ορύγματος (επιφάνειες με ανάκλαση μικρότερη του 0.2).
- Με τη μείωση του ποσοστού του ουρανού στο κωνικό πεδίο όρασης των L_{20}, από το οποίο εξαρτάται και η τιμή της λαμπρότητας προσέγγισης L_{20}.

Έτσι με τη φύτευση δέντρων ή με διάφορες κατασκευές πάνω από την είσοδο της σήραγγας μπορεί να επιτευχθεί μείωση κατά 25% (ανάλογα με το ποσοστό μείωσης του καθαρού ουρανού), η οποία οδηγεί σε σημαντική μείωση της λαμπρότητας στη ζώνη κατωφλίου και σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Σύμφωνα με τα πρότυπα της CIE και όπως συμπεραίνεται από τους πίνακες υπολογισμού της λαμπρότητας προσέγγισης, μία μείωση του ποσοστού ουρανού από το 25% στο 10% επιφέρει μείωση της λαμπρότητας προσέγγισης κατά 25%. Αναφέρεται τέλος ότι η μείωση αυτή αντιστοιχεί σε ανάλογη μείωση της ισχύος. Ένας

άλλος τρόπος μείωσης των επιπέδων λαμπρότητας στη ζώνη κατωφλίου είναι η δημιουργία μίας τεχνητής ζώνης κατωφλίου ακριβώς πριν την είσοδο της σήραγγας, στην οποία το επίπεδο του φωτός της ημέρας που φθάνει στο οδόστρωμα ελέγχεται με το κατάλληλο σύστημα περσίδων. Ο πιο κοινός τύπος τεχνητής ζώνης κατωφλίου είναι η κατασκευή φεγγίτη οροφής (σκέπαστρου), συνήθως από αλουμίνιο, ο οποίος τοποθετείται πάνω από το δρόμο και είναι έτσι σχεδιασμένος ώστε να μην επιτρέπει τη άμεση διείσδυση του φωτός της ημέρας στο δρόμο κάτω από αυτόν. Ο σχεδιασμός τέτοιου σκέπαστρου εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τον προσανατολισμό της σήραγγας. Τα σκέπαστρα θα πρέπει να έχουν ανοίγματα πλάτους τουλάχιστον 2 mm έτσι ώστε να αποφεύγεται η απόφραξή τους από χιόνι, η οποία θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της αποτελεσματικότητάς τους. Σε περιπτώσεις όπου η βροχή ή το χιόνι διέρχεται από το σκέπαστρο και φθάνει στο οδόστρωμα και επικρατεί ψύχος υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας παγετού στο οδόστρωμα εξαιτίας της απουσίας άμεσου φωτός ηλίου, γεγονός που θα μειώσει την ασφάλεια και την άνεση κυκλοφορίας στη σήραγγα. Επίσης τα σκέπαστρα μπορεί να δυσκολεύουν την απαγωγή των καυσαερίων που εξέρχονται από τη σήραγγα. Τέλος, η μεταφορά του φωτός ποικίλει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και την ύπαρξη ηλιοφάνειας ή συννεφιάς.

Εναλλακτική πρόταση αποτελεί η κατασκευή κλειστού σκέπαστρου από υαλότουβλο ή διαφανές πλαστικό. Η χρήση αυτών των σκέπαστρων στηρίζεται ολοκληρωτικά στη μεταφορά του φωτός με διάχυσή του και για αυτόν το λόγο η αποδοτικότητά τους εξαρτάται από το αν διατηρούνται καθαρά. Επιπλέον η κατασκευή τους έχει ιδιαίτερα μεγάλο κόστος.

Ανάλογος σχεδιασμός εφαρμόστηκε στη σήραγγα McCarran στο Las Vegas της Nevada όπου η εξωτερική φωτεινότητα στο καλοκαίρι μπορεί να είναι υψηλή στο επίπεδο των 107,6 Klux. Έτσι εγκαταστάθηκαν στην ζώνη προσέγγισης της σήραγγας σκέπαστρα ικανά να χαμηλώσουν την υπαίθρια φωτεινότητα σε περίπου 10,76 KLux, έναντι των 107,6 KLux χωρίς σκέπαστρα. Η μείωση του εξωτερικού περιβαλλοντικού φωτός οδήγησε σε μια αντίστοιχη απαίτηση επιπέδων χαμηλότερου φωτός στη ζώνη κατωφλίου (Εικόνα 6.1).

ΕΙΚΟΝΑ 6.1 McCarran Tunnel

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του σχεδιασμού, λήφθηκε η απόφαση να χρησιμοποιηθούν τρία επίπεδα φωτός, αντί δύο, για να μειωθούν οι ενεργειακές λειτουργικές δαπάνες. Το σύστημα φωτισμού περιλαμβάνει ένα πρωινό επίπεδο, το νυχτερινό επίπεδο, και ένα ενδιάμεσο επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας για τη χρήση κατά τη διάρκεια του λυκόφωτος (δύσης και ανατολής) ή των περιόδων συννεφιάς όταν το επίπεδο υπαίθριου φωτεινού περιβάλλοντος δεν είναι πλήρες.

Τέλος η χρήση του φωτός που εισέρχεται στη σήραγγα από τις εισόδους της αποτελεί μια σημαντική μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας για αυτό και θα μελετηθεί ειδικότερα στο επόμενο κεφάλαιο κάνοντας χρήση του ADELINE, του ειδικού προγράμματος της IEA, προκειμένου να έχουμε μια ποιοτική περισσότερο εκτίμηση του ποσοστού της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούμε να εξοικονομήσουμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ADELINE

7.1 ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

7.1.1 Εισαγωγή

Ο φυσικός φωτισμός συνεχώς αλλάζει την ένταση του και το χρώμα του, από την αυγή ως τη δύση, από μέρα σε μέρα, από εποχή σε εποχή. Μερικοί άνθρωποι θεωρούν ότι είναι μια ιδιότροπη πηγή φωτισμού, αλλά μπορεί να γίνει και ένα πανίσχυρο εργαλείο για τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς. Επειδή κινείται, αλλάζει χαρακτήρα και ποικίλει με τον καιρό, μπορεί να προσδώσει στα κτίρια και στους χώρους μια ζωντανή ποιότητα που είναι ακατόρθωτη με άλλα σχεδιαστικά στοιχεία.

Αν και ο φυσικός φωτισμός μπορεί μερικές φορές να θεωρηθεί αποκλειστικά σε όρους της σχεδιαστικής αισθητικής, είναι πιο συχνά θεωρούμενος ως εναλλακτικός σχεδιασμός εξαιτίας του κάποιου ενδιαφέροντος για την χρησιμοποίηση της ενέργειας και τη διατήρηση της ενέργειας στα προτεινόμενα κτίρια και χώρους. Ο φυσικός φωτισμός θεωρείται μια εναλλακτική τεχνολογία (σωστά ή λάθος), όπως το ηλεκτρικό φως ήταν ως μια εναλλακτική του φυσικού φωτισμού 100 χρόνια πριν.

Προκειμένου να ξεκινήσει να θεωρεί τον συνυπολογισμό του φυσικού φωτισμού στα κτίρια, ένας σχεδιαστής πρέπει να έχει ένα ή περισσότερους επιτακτικούς λόγους για να το κάνει. Όλο και περισσότερο ο φυσικός φωτισμός χρησιμοποιείται είτε ως πρωταρχικό είτε ως δευτερεύον εσωτερικό φωτιστικό, αλλά ακόμα και αν χρησιμοποιείται μόνο για να καθορίσει ένα συγκεκριμένο σχεδιαστικό αποτέλεσμα, ο σχεδιαστής πρέπει να θεωρήσει την επίδραση του φωτισμού σε όλες τις όψεις του χώρου και την κατάληψή του.

Κάθε χώρος έχει διαφορετικές απαιτήσεις, ανάγκες και περιορισμούς. Η απόφαση της χρησιμοποίησης του φυσικού φωτισμού ή οποιουδήποτε άλλου ειδικού περιβαλλοντολογικού συστήματος, πρέπει να γίνει σε μια κατά περίπτωση βάση. Προκειμένου να πάρει καλές επαγγελματικές αποφάσεις, ο σχεδιαστής πρέπει να θεωρήσει όλα τα σχετικά θέματα και να τα ζυγίσει με τους όρους των απαιτήσεων του προγράμματος.

Πολύ λόγοι μπορούν να δικαιολογήσουν τη θεώρηση του φυσικού φωτισμού ως πηγή φωτισμού Ανάμεσα στους λόγους είναι:

- Ποιότητα του φωτισμού.
- Σπουδαιότητα του φυσικού φωτισμού ως σχεδιαστικό στοιχείο.
- Η διατήρηση της ενέργειας προκύπτει από τη χρησιμοποίηση του φυσικού φωτισμού ως πρωταρχικού ή δευτερεύοντος φωτιστικού.
- Η κατανάλωση της ενέργειας και η απαίτηση αιχμής κοστίζει στην εξοικονόμηση χρημάτων που προκύπτει από την χρησιμοποίηση του φυσικού φωτισμού.

- Δεν αλλάζει το κόστος στη κατασκευή.
- Ευκαιρία να αναπτυχθεί η συνεργασία στα κατασκευαστικά και μηχανικά συστήματα.
- Ψυχολογικά και φυσιολογικά κέρδη που δεν μπορούν να αποκτηθούν με το ηλεκτρικό φως.

Η ποιότητα του φυσικού φωτισμού ως φωτιστικού είναι ένας σημαντικός λόγος για τη χρησιμοποίηση του στα κτίρια. Φυσικός φωτισμός - ο συνδυασμός του ηλιακού και του ουράνιου φωτισμού - είναι η μοναδική φωτεινή πηγή που ταιριάζει περισσότερο στη ανθρώπινη οπτική αντίδραση. Ο φυσικός φωτισμός είναι ένα ολικού φάσματος φως. Πάνω από εκατομμύρια χρόνια, το ανθρώπινο μάτι εξελισσόταν χρησιμοποιώντας αυτό του ολικού φάσματος φως ως πηγή αντίθετα με όλες τις άλλες φωτεινές πηγές που είναι συγκρινόμενο.

Επειδή η ποιότητα του φυσικού φωτισμού είναι τόσο καλή, απαιτείται συχνά λιγότερος φυσικός φωτισμός για να προετοιμάσει ένα έργο απ' ότι για να προετοιμαστεί το ίδιο έργο κάτω από ηλεκτρικό φως.

Ένα άλλο ποιοτικό θέμα είναι η απόδοση του χρώματος. Επειδή η ποιότητα του φυσικού φωτισμού είναι καλή για την όραση, ο φυσικός φωτισμός καθορίζει ένα καλό οπτικό περιβάλλον. Ένα καλό περιβάλλον επιδρά στην ικανότητα του ατόμου να βλέπει αντικείμενα σε ένα χώρο σωστά, να διακρίνει το πρώτο πλάνο από το φόντο και να προετοιμάζει οπτικές εργασίες.

Ο φυσικός φωτισμός προσδίδει μια αίσθηση ευρύχωρου χώρου. Επειδή τα ανοίγματα του φυσικού φωτισμού ''ανοίγουν ένα παράθυρο έξω'' κάνουν το χώρο να φαίνεται μεγαλύτερο. Η ευρυχωρία, αντιλαμβανόμενη σαν ένα αίσθημα ανοικτού χώρου παραγόμενο βασικά μέσω της οπτικής διαίσθησης του χώρου, είναι ένα φαινόμενο που έχει μελετηθεί από ένα αριθμό περιβαλλοντικών ερευνητών. Η αντιλαμβανόμενη ευρυχωρία είναι μεγαλύτερη σε δωμάτια με μεγάλα παράθυρα. Χώροι που έχουν ορισθεί ως περισσότερο ευρύχωροι έχουν επίσης θεωρηθεί περισσότερο ευχάριστοι. Με την παρουσία του ηλιακού και του φυσικού φωτισμού στην αίθουσα προστίθεται ποικιλία και εναλλακτικότητα στην ποιότητα του χώρου εισάγοντας αλλαγές στο χρώμα, στην αντίθεση, και στο φως. Αυτό δημιουργεί μια δυναμική ποιότητα του χώρου που δεν μπορούν να το κατορθώσουν άλλα σχεδιαστικά στοιχεία.

Είναι λογικό να περιμένουμε ότι ο φυσικός φωτισμός μπορεί να μειώσει την ανάγκη για ηλεκτρικό φως σε ένα κτίριο, αλλά αυτό δε σημαίνει ότι ο φυσικός φωτισμός αντικαθιστά το ηλεκτρικό φως. Σημαίνει ότι το ηλεκτρικό φως δεν πρέπει να χρησιμοποιείται όταν εμφανίζεται φυσικός φωτισμός σε επαρκής ποσότητες. Όταν εμφανίζεται ανεπαρκής φυσικός φωτισμός εξαιτίας του καιρού ή της ώρας της ημέρας (ή νύχτα) χρειάζεται το ηλεκτρικό φως. Το κλειδί του σχεδιασμού ενός συστήματος συνεργασίας φυσικού και ηλεκτρικού φωτισμού είναι η στρατηγική του ελέγχου του ηλεκτρικού φωτισμού.

Εκτός από τα πλεονεκτήματα ο φυσικός φωτισμός έχει και ένα σημαντικό μειονέκτημα το οποίο είναι η θάμβωση, αν και όλα τα φωτιστικά συστήματα είναι εν δυνάμει πηγές της θάμβωσης. Τα συστήματα φυσικού φωτισμού έχουν μια μεγαλύτερη τάση να προκαλούν θάμβωση απ' ότι έχουν τα φωτιστικά συστήματα, επειδή χρησιμοποιούνται περισσότερο από ότι τα φωτιστικά μόνα τους.

7.1.2 Φυσικός Φωτισμός στις σήραγγες

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η πιο σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό και στη μελέτη φωτισμού των σηράγγων είναι η ασφάλεια των χρηστών. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι το κόστος τόσο το λειτουργικό όσο και της εγκατάστασης του φωτισμού της σήραγγας.

Ένας σημαντικός στόχος των μηχανικών είναι να κάνουν την οδήγηση σε σήραγγα μια θετική εμπειρία, ώστε οι οδηγοί να αισθάνονται ασφάλεια καθώς τη διασχίζουν. Για να το πετύχουν αυτό, σχεδιάζουν το χώρο λαμβάνοντας υπόψη τους ψυχολογικούς παράγοντες που υπεισέρχονται όσον αφορά την οδική ασφάλεια.

Στη μεγαλύτερη εν λειτουργία σήραγγα στο κόσμο, στη σήραγγα Laerdal, οι σχεδιαστές κατασκεύασαν τρεις μεγάλες αίθουσες μέσα στη σήραγγα, οι οποίες μοιάζουν με σπηλιές, ώστε αυτές να προσομοιώνουν το φυσικό φωτισμό. Ο ειδικός τεχνητός φωτισμός που υπάρχει σε αυτές τις αίθουσες με κίτρινο ή πράσινο φως στο έδαφος και μπλε φως στο επάνω μέρος δίνουν την εντύπωση του φυσικού φωτισμού. Αυτός ο τεχνητός φωτισμός μαζί με τον επαρκή φωτισμό σε όλη τη σήραγγα παρέχουν στους οδηγούς άνεση και ασφάλεια.

Είναι σαφές πως το πόσο οικονομική είναι η εγκατάσταση φωτισμού μίας σήραγγας εξαρτάται από δύο βασικούς, παράγοντες, το κόστος εγκατάστασης και την κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία της σήραγγας. Το κόστος εγκατάστασης μπορεί να υπολογισθεί σχετικά εύκολα αν κανείς λάβει υπόψη το κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται, όπως είναι τα φωτιστικά σώματα, τα καλώδια και το σύστημα ελέγχου. Στον υπολογισμό όμως της κατανάλωσης παρουσιάζεται ένα βασικό πρόβλημα. Η λειτουργία του συστήματος και κατά συνέπεια και η στιγμιαία ισχύς του, εξαρτάται άμεσα από τα επίπεδα λαμπρότητας στο εξωτερικό της σήραγγας. Για να γίνει λοιπόν μία εκτίμηση της κατανάλωσης είναι απαραίτητη η γνώση των μεταβολών της λαμπρότητας L_{2O}.

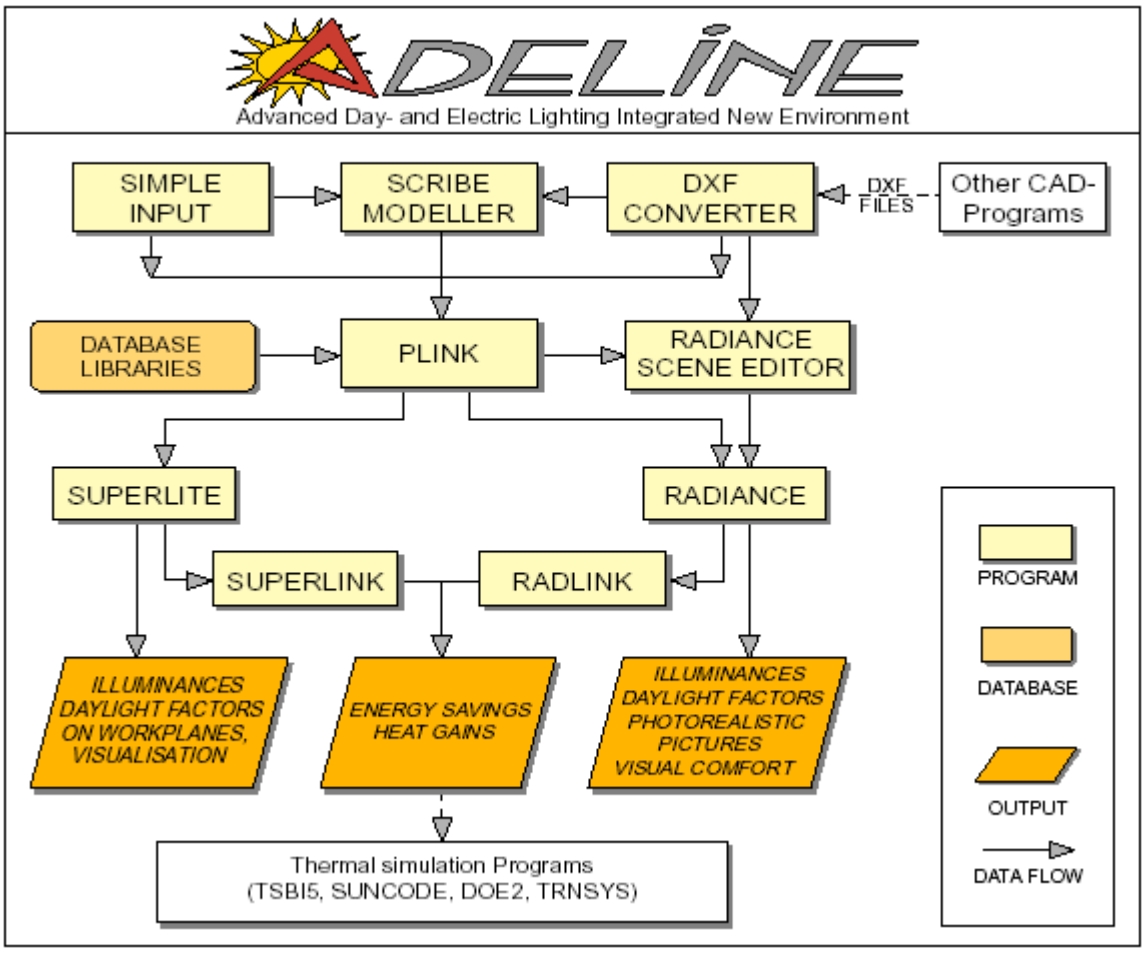
Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα ADELINE της IEA Solar Heating and Cooling προκειμένου να έχουμε μια εκτίμηση του φυσικού φωτισμού που εισέρχεται στο πρώτο μισό της ζώνης κατωφλίου (Threshold Zone). Σημειώνουμε δε ότι τα μεγέθη που θα χρησιμοποιήσουμε είναι αυτά της Έντασης Φωτισμού (Lux) και όχι της Λαμπρότητας (cd/m^2) που είναι τα πλέον αξιόπιστα. Έτσι μπορούμε να έχουμε μια εκτίμηση (όχι μια πλήρης περιγραφή της πραγματικής κατάστασης) της ποσότητας και του τρόπου με τον οποίο διαχέεται ο φυσικός φωτισμός στη ζώνη κατωφλίου.

7.2 ADELINE

7.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ADELINE σημαίνει εξελιγμένος φυσικός και ηλεκτρικός φωτισμός ολοκληρωμένος σε νέο περιβάλλον. Το πρόγραμμα ADELINE είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα σχεδίασης φωτισμού και ανάλυσης που παρέχει στους αρχιτέκτονες, στους σχεδιαστές παραθύρων, στους εμπειρογνώμονες, στους μηχανικούς φωτισμού, και στους κατασκευαστές φωτιστικών ακριβείς και λεπτομερείς πληροφορίες για την συμπεριφορά του φυσικού και του ηλεκτρικού φωτισμού μέσα σε ένα κτίριο. Το ADELINE επιτρέπει στον αρχιτέκτονα να δημιουργήσει καινοτομικό και αξιόπιστο σχεδιασμό με την επεξεργασία μιας μεγάλης σειράς από σύνθετες καταστάσεις. Επιπλέον, καθιστά ικανό τον χρήστη να υπολογίσει την κατανάλωση φωτιστικής ενέργειας, το προκύπτον κέρδος εσωτερικής

θερμότητας καθώς και την κατανάλωση της θέρμανσης και της ψύξης μαζί συνδέοντας ένα από τα προτεινόμενα ενεργειακά προγράμματα.



Σχήμα 1. Σύνοψη της οργάνωσης του προγράμματος ADELINE 2.0

7.2.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ADELINE

Το ADELINE πρέπει να χρησιμοποιείται από το πρωταρχικό στάδιο της σχεδιαστικής διαδικασίας. Το ADELINE δεν βοηθά μόνο στην βελτίωση της παρουσίας του φυσικού και του ηλεκτρικού φωτισμού στα κτίρια αλλά επίσης μειώνει την χρησιμοποίηση της φωτιστικής ενέργειας, ενώ διατηρεί την οπτική άνεση. Επίσης καθιστά ικανούς τους αρχιτέκτονες ή τους μηχανικούς να χρησιμοποιήσουν πολύ περίπλοκα εργαλεία χωρίς να έχουν να αντιμετωπίσουν λεπτομερείς εισόδους προγράμματος και χειρισμό αρχείων. Είναι σαφές ότι ο φυσικός φωτισμός πρέπει να συνεργάζεται με τον ηλεκτρικό φωτισμό για να δημιουργήσουν ένα άνετο οπτικό περιβάλλον και να αντικαταστήσουν όσο πιο συχνά είναι δυνατό τον τεχνητό φωτισμό. Καλή χρησιμοποίηση του φυσικού φωτισμού όχι μόνο ελαττώνει τη φωτιστική ενέργεια αλλά επίσης την θερμαντική και τη ψυκτική ενέργεια. Το ADELINE θα διευκολύνει την ολοκλήρωση του φυσικού φωτισμού και θα οδηγήσει σε καλύτερη αρχιτεκτονική και οπτική άνεση με μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση.

Στο ADELINE 2.0 ένα πρόγραμμα CAD,SCRIBE MODELLER είναι συνδεδεμένο σε δύο πολύ γνωστά προγράμματα φυσικού φωτισμού και φωτισμού, το SUPERLITE και το RADIANCE μέσω ενός προγράμματος μετατροπής το PLINK, λόγω του οποίου παράγουν τις περίπλοκες εισόδους τους με απλό τρόπο. Και τα δύο προγράμματα είναι επιπλέον συνδεδεμένα με το SUPERLINK ή το RADLINK αντίστοιχα. Αυτά τα δύο προγράμματα υπολογίζουν την τεχνητή φωτιστική ενέργεια που απαιτείται για να συμπληρώσει τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό. Το SUPERLINK και το RADLINK μπορεί να συνδέονται με ενεργειακά προγράμματα έτσι ώστε η συνολική κατανάλωση ενέργειας (φωτιστική, θερμαντική και ψυκτική) να μπορεί έπειτα να υπολογιστεί. Ο αρχιτέκτονας ή ο μηχανικός οδηγείται μέσω των ποικίλων προγραμμάτων με ένα γραφικό περιβάλλον για τον χρήστη. Ο αρχιτέκτονας εισάγει τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου με τον σχεδιασμό του φυσικού φωτισμού μέσω του SCRIBE. Οι φωτομετρικές και οι οπτικές ιδιότητες των στρατηγικών (όπως οι συντελεστές ανάκλασης), τα φωτιστικά συστήματα ελέγχου, τα κλιματιστικά δεδομένα κ.τ.λ είναι είσοδοι αργότερα όταν αναζητούνται. Για το SUPERLITE είναι επίσης πιθανό να εισάγουμε απευθείας τη γεωμετρία ενός απλού δωματίου μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος για τον χρήστη χωρίς τη χρησιμοποίηση του SCRIBE.

Δύο βασικοί δρόμοι προσφέρονται από το ADELINE. Ο ένας προσφέρει ακριβείς και λεπτομερείς 3D επιδείξεις από ποικίλα φωτιστικά σενάρια σε χρώματα με περίπλοκες γραφικές απεικονίσεις να αναλύουν την διανεμόμενη φωτεινότητα, τις πηγές λάμψης και οπτική άνεση χρησιμοποιώντας το RADIANCE. Ο άλλος δρόμος υπολογίζει τα επίπεδα της έντασης φωτισμού και τους παράγοντες φυσικού φωτισμού σε κάθε επίπεδο χρησιμοποιώντας το SUPERLITE. Και οι δύο είσοδοι και έξοδοι του SUPERLITE μπορούν να αναλυθούν με αντίστοιχα σχεδιαστικά προγράμματα που περιλαμβάνονται στο ADELINE.

Για τους δύο βασικούς δρόμους, η φωτιστική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το SUPERLINK και το RADLINK αντίστοιχα και έπειτα η συνολική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας ένα θερμικό και ενεργειακό πρόγραμμα που είναι συνδεδεμένο με το SUPERLINK και το RADLINK. Αυτά είναι το TRNSYS, SUNCODE, DOE-2.1 ή DOE-2.1 και TSBI3. Σημείωση, ότι αυτά τα θερμικά προγράμματα δεν είναι μέρος του συστήματος ADELINE.

Για αυτό, ο αρχιτέκτονας πρέπει να λαμβάνει υπόψη μια επίδραση του αποτελέσματος του ή της επιλογής των στρατηγικών του φυσικού φωτισμού πάνω στον εσωτερικό φωτισμό και την άνεση καθώς και της φωτιστικής ενέργειας και του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Έπειτα ο αρχιτέκτονας είναι ικανός να πάρει μια πραγματικά σημαντική απόφαση.

7.2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

SCRIBE MODELLER

Το SCRIBE MODELLER είναι ένα βοηθητικό σύστημα μικρουπολογιστή για τη κατασκευή και αξιολόγηση των σχεδιασμών και την παραγωγή δυσδιάστατων ή τρισδιάστατων σχεδίων. Σχεδιάζονται για να την παρουσίαση όχι μόνο δυσδιάστατων ή τρισδιάστατων σχημάτων ή αντικειμένων, αλλά επίσης για τα συνδυασμένα χαρακτηριστικά τους, για τις ιδιότητες και τις περιγραφές με ένα τρόπο που επιτρέπει να γίνουν διαφορετικοί υπολογισμοί και να εξαχθούν πληροφορίες

από το μοντέλο για την δημιουργία δεδομένων για την εξομοίωση της λειτουργίας όπως ο φωτισμός στο ADELINE.

Το SCRIBE MODELLER μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχηματισμό κάθε είδους σχήματος το οποίο μπορεί να ορισθεί από γραμμές, γωνίες, και επίπεδα γύρω από στερεά διαστήματα ή κενά. Κάθε στοιχείο που συμπληρώνει το μοντέλο μπορεί να έχει συνδυασμένα χαρακτηριστικά συνδυασμένα άμεσα ή έμμεσα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπολογισμό ή εξομοίωση αργότερα. Στο ADELINE το SCRIBE MODELLER χρησιμοποιείται μόνο για να δημιουργήσει ένα σκελετό εισαγωγής αρχείου για το SUPERLITE και το RADIANCE. Στο PLINK, η επιφάνεια και οι γενικές ιδιότητες είναι συνδυασμένες με σχετικούς κωδικούς χαρακτηριστικών για κάθε επιφάνεια από το MODELLER. Αν και η χρησιμοποίηση του MODELLER είναι περιορισμένη στο ADELINE μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές άλλες περιοχές όπως στην αρχιτεκτονική για εξωτερικούς χώρους, στον προγραμματισμένο αστικό σχεδιασμό, στα κτίρια, στην κατασκευή, στον εσωτερικό σχεδιασμό, στον εκθεσιακό σχεδιασμό, στην μηχανολογία, στην διάταξη των ηλεκτρικών στοιχείων, στην εκπαίδευση κ.τ.λ. Η χρησιμοποίηση του σε ένα αρχιτεκτονικό ή μηχανικό γραφείο είναι για αυτό πολύ μεγάλη και χωρίς περιορισμούς στο ADELINE.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η ευκολία με την οποία ένα σχέδιο μπορεί να εισαχθεί στον υπολογιστή και να ελεγχθεί αμέσως. Σχεδιαγράμματα που μπορούν να γίνουν σε σχέδια, σε τμήματα ή απευθείας σε κάθε τρισδιάστατη προβολή του μοντέλου και σε κάθε διαδικασία διόρθωσης, μετακίνηση ή πρόσθεση στοιχείων ή μετατροπή είναι αμέσως ορατά στο τρέχον σχεδιασμό του μοντέλου. Οι εντολές δίνονται είτε από το ποντίκι ή από άλλη δεικτική συσκευή ή από τα δύο πρώτα γράμματα της εντολής. Η οθόνη εξομοιώνει την σχεδιαστική πινακίδα και ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τις ακριβείς διαστάσεις ή να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε μέγεθος πλέγματος. Το σχέδιο εισάγεται σχεδιάζοντας γραμμές, ορίζοντας αντικείμενα, επιφάνειες ή μόνο γραμμές. Κανονικά πολύγωνα, κύκλοι και τόξα εισάγονται όταν απαιτούνται.

Ένα σχέδιο μπορεί να περιστρέφεται γύρω από οποιοδήποτε άξονα, να μεταδίδεται, να απεικονίζεται, να εκτείνεται κ.τ.λ και οι γραμμές μπορούν να αλλάζουν και σβήνονται κατά βούληση. Υπάρχουν ευκολίες για την επιλεκτική συνολική διόρθωση. Το απόλυτο επίπεδο ακρίβειας, η κλίμακα και η χωροταξική σχέση διατηρούνται παντού. Σε κάθε στάδιο του σχεδιασμού διάφορα τρισδιάστατα σχεδιαγράμματα είναι διαθέσιμα.

Οι όψεις από κάθε οπτικό σημείο ή γωνία, ισομετρικές ή υψομετρικές είναι διαθέσιμες. Αυτό επιτρέπει και στα δύο εξωτερικό και εσωτερικό να είναι ορατά. Ολόκληρες κρυμμένες γραμμές μπορούν επίσης να μετακινούνται σε μια προβολή ή ένας τύπος από γρήγορο γέμισμα των επιπέδων με χρώμα είναι πιθανό να σβήσει τις κρυμμένες γραμμές, το οποίο διευκολύνει τον έλεγχο.

PLINK

Το PLINK είναι ένα συνδυασμένο πρόγραμμα το οποίο μετατρέπει τα σχεδιασμένα μοντέλα του SCRIBE MODELLER σε αρχείο περιγραφής σκηνής RADIANCE ή σε ένα αρχείο εισαγωγής SUPERLITE και δουλεύει στην πραγματικότητα ως φίλτρο εισαγωγής εντός αυτών των δύο προγραμμάτων. Συνδυάζει φωτομετρικές και επιφανειακές ιδιότητες σε κάθε στοιχείο του μοντέλου αναπτυσσόμενο με το SCRIBE MODELLER και ελέγχει ώστε αυτές οι συνδέσεις να είναι σημαντικές (π.χ οι επιφάνειες με χαρακτηριστικά υαλοπινάκων πρέπει να

δηλώνονται ως ένας από τους μερικούς πιθανούς τύπους του παραθύρου). Μια βάση δεδομένων υλικών, πάνω από 200 υλικά, έχει επίσης δημιουργηθεί η οποία περιλαμβάνει αδιαφανείς επιφάνειες (σκυρόδεμα, τούβλα, ξύλο, μέταλλο και ιδιότητες χρωματισμού) διαφανείς και ημιδιαφανείς επιφάνειες (γυάλινα και πλαστικά υλικά) των οποίων οι φωτομετρικές ιδιότητες έχουν μετρηθεί σε πραγματικά δείγματα. Ένα αντίστοιχο σετ χρωμάτων είναι διαθέσιμο.

Όλες οι άλλες απαιτούμενες είσοδοι για το RADIANCE ή το SUPERLITE μπορούν να εισαχθούν απευθείας μέσω του περιβάλλοντος του χρήστη. Οι κλιματιστικές είσοδοι αντιστοιχούν στην ηλιακή συνεισφορά (άμεση μόνο) ,αίθριοι ουρανοί (ολική/ διάχυτη) και της CIE οι πρότυποι ή ομοιόμορφοι συννεφιασμένοι ουρανοί. Αυτοί μπορούν αργότερα να συνδεθούν με το ADELINE χρησιμοποιώντας το SUPERLINK ή το RADLINK να εξομοιώσει τις πραγματικές συνθήκες ουρανού. Το SUPERLITE ή το RADIANCE που καλούνται από το βασικό μενού του ADELINE, διαβάζουν και μετατρέπουν το σχετικό γραμμένο CAD αρχείο από τις καλούμενες εσωτερικές ρουτίνες.

SUPERLITE

Το SUPERLITE που αναπτύχθηκε το 1985, είναι ένα πραγματικά κλασικό πρόγραμμα φυσικού φωτισμού, που χρησιμοποιεί την μέθοδο της μεταφερόμενης ροής. Το SUPERLITE παραμένει ευρύτατα χρησιμοποιούμενο καθώς εκσυγχρονίζεται τακτικά από τα Αμερικάνικα και Ευρωπαϊκά κέντρα. Είναι ακριβές, καλά επικυρωμένο, δημόσιας χρήσεως ερευνητικό πρόγραμμα που υπολογίζει τους παράγοντες φυσικού φωτισμού και τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού σε κάθε δοσμένη επιφάνεια για λεπτομερείς γεωμετρικούς χώρους, σταθερές τεχνικές φυσικού φωτισμού και σκιάσεις από εξωτερικά και εσωτερικά εμπόδια.

Μια καινούργια δυνατότητα που έχει αναπτυχθεί για το SUPERLITE IEA 2.0 το οποίο περιλαμβάνεται στο ADELINE είναι η δυνατότητα να εξομοιώσει ένα εσωτερικό παράθυρο που διαχωρίζει δύο χώρους, ένας από τους οποίους είναι άμεσα φωτιζόμενος από φυσικό φωτισμό. Το πλεονέκτημα του SUPERLITE σε σύγκριση με τα άλλα προγράμματα φυσικού φωτισμού, συμπεριλαμβανομένου του RADIANCE, είναι ότι μπορεί να εξομοιώσει μερικές στρατηγικές φυσικού φωτισμού. Όμως, εξαιτίας της θεμελιώδους μεθόδου radiosity, όλες οι ανακλώμενες επιφάνειες επεξεργάζονται ως διάχυτες. Το SUPERLITE υπολογίζει τις ωριαίες τιμές της έντασης φωτισμού ή τους παράγοντες φυσικού φωτισμού. Το SUPERLITE επεξεργάζεται ένα ομοιόμορφο ουρανού, έναν πρότυπο συννεφιασμένο ουρανό της CIE ή έναν αίθριο ουρανό της CIE με ή χωρίς ήλιο.

Η έκδοση που περιλαμβάνεται στο ADELINE είναι ικανή όχι μόνο για την εξομοίωση του φυσικού φωτισμού αλλά και επίσης για συνθήκες τεχνητού φωτισμού χρησιμοποιώντας φωτιστικής ισχύος διανεμόμενα δεδομένα στην πρότυπη μορφή IES.

RADIANCE

Το RADIANCE, ένα σύνθετο σετ προγραμμάτων, υπολογίζει την λαμπρότητα μέσα σε ένα χώρο κάθε μεγέθους το οποίο μπορεί να είναι επιπλωμένο. Μια απεικόνιση του δοσμένου χώρου παρουσιάζεται. Οι επιφάνειες μπορεί να είναι κατοπτρικές, ημικατοπτρικές, διάχυτες, διαθλόμενες ή ημιδιαφανής. Γενικές διπλής κατεύθυνσης ανακλάσεις ή μεταδιδόμενη διανομή λειτουργιών πρέπει να

εφαρμοστούν. Τα νούμερα των επιφανειών σε ένα μοντέλο είναι περιορισμένα μόνο από το μέγεθος της διαθέσιμης μνήμης.

Το RADIANCE χρησιμοποιεί την τεχνική της ακτινικής σχεδίασης και δημιουργεί μια πραγματική 3-D απεικόνιση του χώρου. Ο χρήστης λαμβάνει υπόψη μια χρωματική οπτική παρουσίαση του χώρου και επιπλωμένο με τα σκιώδη και τις περισσότερο σημαντικές με τις υπολογιζόμενες τιμές της φωτεινότητας. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στους αρχιτέκτονες και στους σχεδιαστές που χρειάζονται πληροφορίες για τον φωτισμό μέσα σε ένα κτίριο με ένα δοσμένο ηλεκτρικό ή φυσικού φωτισμού φωτιστικό σύστημα. Οι δείκτες λάμψης και η οπτική πιθανότητα άνεσης του Guth (VCP) μπορούν να ληφθούν υπόψη ως αριθμητικές τιμές λαμπρότητας, τιμές έντασης φωτισμού και παραγόντων φυσικού φωτισμού.

SUPERLINK και RADLINK

Το SUPERLINK και το RADLINK αναπτύχθηκαν για να συνδέσουν προγράμματα φυσικού φωτισμού, όπως το SUPERLITE ή το RADIANCE, σε ένα ενεργειακό πρόγραμμα έτσι ώστε η επιρροή πάνω στο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο της αντικατάστασης του ηλεκτρικού φωτισμού από τον φυσικό φωτισμό να μπορεί να μελετηθεί.

Το κύριο σημείο της σύνδεσης είναι η ανάμειξη των πρότυπων ωριαίων ουράνιων συνθηκών, υπολογιζόμενων από το SUPERLITE, για να εξομοιώσουν τις πραγματικές καιρικές συνθήκες. Το SUPERLITE και το RADIANCE τρέχουν για τους πρότυπους συννεφιασμένους ουρανούς της CIE, τους αίθριους ουρανούς με ή χωρίς ήλιο μέσα στο SUPERLINK και το RADLINK, αντίστοιχα. Αυτά τα προγράμματα χρησιμοποιούν την ωριαία διανεμόμενη ένταση φωτισμού πάνω σε μια επιφάνεια εργασίας για κάθε ώρα μιας μέρας κάθε μήνα για τις τρεις πρότυπες καταστάσεις. Οι υπολογιζόμενες ωριαίες εντάσεις φυσικού φωτισμού συγκρίνονται με την απαιτούμενη σχεδιασμένη ένταση φωτισμού και τον απαραίτητο τεχνητό φωτισμό που λαμβάνεται υπόψη για τους ουρανούς της CIE. Η ωριαία πιθανότητα ηλιοφάνειας η οποία προέρχεται από τα πραγματικά δεδομένα του καιρού χρησιμοποιείται για να αντισταθμίσει τις πρότυπες συνθήκες και να λάβει υπόψη το ηλεκτρικό φως για πραγματικές συνθήκες ουρανού. Αυτό μπορεί να γίνει για περισσότερα από 25 σημεία αναφοράς για διαφορετικά συστήματα ελέγχου φωτισμού. Η ωριαία φωτιστική ενέργεια μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί ως κέρδος εσωτερικής θέρμανσης στο συνδυασμένο ενεργειακό πρόγραμμα ή το ADELINE μπορεί να μείνει σε αυτό το σημείο με την κατανάλωση της ηλεκτρικής φωτιστικής ενέργειας ως έξοδος.

7.2.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΘΟΛΟΥ

Η αναγκαιότητα της χρησιμοποίησης και υπολογισμού του φυσικού φωτισμού στο σχεδιασμό κτιρίων και χώρων καθώς και η επίδραση του στην κατανάλωση ενέργειας ανάγκασε τους επιστήμονες να καθορίσουν διάφορα μοντέλα προσομοίωσης του ουράνιου θόλου έτσι ώστε να γίνει πιο εύκολος ο υπολογισμός των μεγεθών προσδιορισμού του ουράνιου θόλου(λαμπρότητα, ένταση φωτισμού).

Πριν ξεκινήσουμε τον υπολογισμό της έντασης φωτισμού που οφείλεται στον ουρανό, πρέπει να προσδιοριστεί η λαμπρότητα του ουρανού. Για τον προσδιορισμό της λαμπρότητας πρέπει να καθοριστούν οι διάφορες συνθήκες

που μπορεί να βρεθεί ο ουρανός. Έτσι έχουν ορισθεί 5 προσδιοριστικοί ουρανοί.

1. CIE πρότυπος αίθριος ουρανός.
2. CIE πρότυπος συννεφιασμένος ουρανός.
3. Ενδιάμεσος ουρανός.
4. Μέσος ουρανός (average sky).
5. Μέσος ουρανός (mean sky).

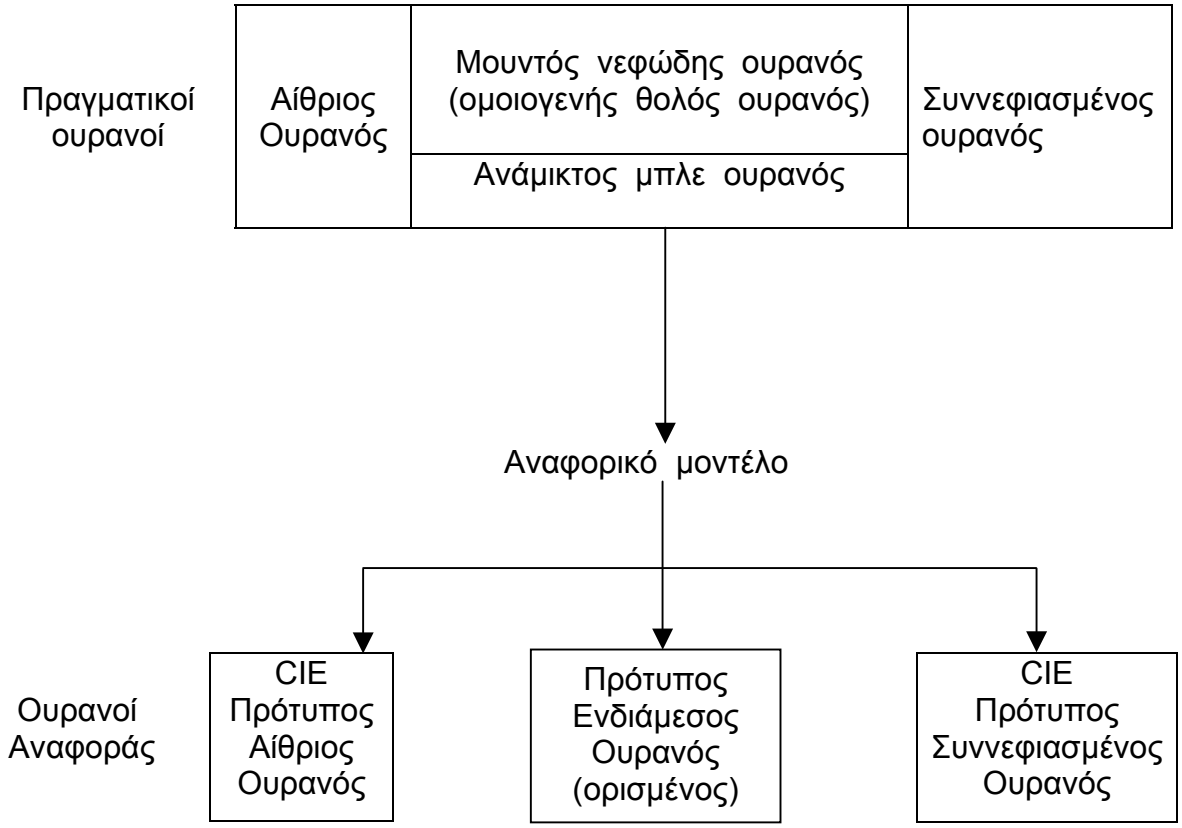
Οι δύο πρώτες συνθήκες ουρανού έχουν τυποποιηθεί ήδη από την CIE ως τρόπος έκφρασης της σχετικής διανεμόμενης λαμπρότητας. Η τρίτη ίσως στο μέλλον συστηθεί ως CIE πρότυπος ουρανός, ή ως μια σειρά από τυποποιημένη σύσταση για περισσότερους από έναν ουρανό θα γίνει, μόνο αν είναι εντελώς απαραίτητο. Ο τέταρτος και ο πέμπτος ουρανός είναι για ειδικές εφαρμογές και δεν θα συστήνονται απαραίτητα από την CIE ως πρότυποι.

Η διανεμόμενη λαμπρότητα του ουρανού ποικίλει με τον καιρό και το κλίμα. Αυτή η τυποποίηση ορίζει δύο καταστάσεις οι οποίες τείνουν να συμβούν κάτω από σταθερές συνθήκες και οι οποίες μπορούν να ληφθούν ως ακραίες περιπτώσεις. Περιγράφονται από την σχετική διανεμόμενη λαμπρότητα: η λαμπρότητα σε κάθε σημείο του ουρανού δίνεται ως συνάρτηση της λαμπρότητας του ζενίθ.

Ο CIE πρότυπος αίθριος ουρανός παρουσιάζει τις συνθήκες αίθριου ουρανού. Η λαμπρότητα του ουρανού εξαρτάται και από τη γωνία του ύψους και από τη θέση του ήλιου. Είναι συμμετρική σχεδόν με τον ηλιακό μεσημβρινό. Η λαμπρότητα ενός αίθριου ουρανού επηρεάζεται από την μόλυνση και από άλλες πηγές των ατμοσφαιρικών σωματιδίων. Ο πρότυπος αίθριος ουρανός δίνεται σε δύο μορφές: για εφαρμογή σε καθαρές αγροτικές συνθήκες και για μολυσμένες ή βιομηχανικές ατμόσφαιρες

Ο CIE πρότυπος συννεφιασμένος ουρανός παρουσιάζει το μοντέλο της ουράνιας λαμπρότητας που συνδέεται με μεγάλα στρώματα σύννεφων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο ηλιακός δίσκος είναι συνήθως αόρατος από το έδαφος. Η διανεμόμενη λαμπρότητα του πρότυπου συννεφιασμένου ουρανού είναι συνάρτηση μόνο της γωνίας του ύψους πάνω από τον ορίζοντα. Αυτό γίνεται επειδή είναι συμμετρικό περίπου με το ζενίθ και εξαρτώμενο από τη θέση του ήλιου. Η λαμπρότητα των σύννεφων επηρεάζεται από το ανακλώμενο φως από τις επιφάνειες εδάφους. Ο πρότυπος συννεφιασμένος ουρανός βασίζεται στην υπόθεση του σκούρου εδάφους. Δεν πρέπει να εφαρμόζεται όταν το έδαφος καλύπτεται με χιόνι ή όταν η επιφάνεια αποτελείται κυρίως από άλλα υλικά υψηλής ανακλαστικότητας, όπως η άσπρη άμμος.

Ο ενδιάμεσος ουρανός είναι ένας ουρανός για τον οποίο η λαμπρότητα ενός δοσμένου ουράνιου στοιχείου θα καθορίζεται για μια δοσμένη θέση κάτω από μια ενδιάμεση καιρική συνθήκη η οποία εμφανίζεται μεταξύ της CIE αίθριου και πρότυπου συννεφιασμένου ουρανού όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.**



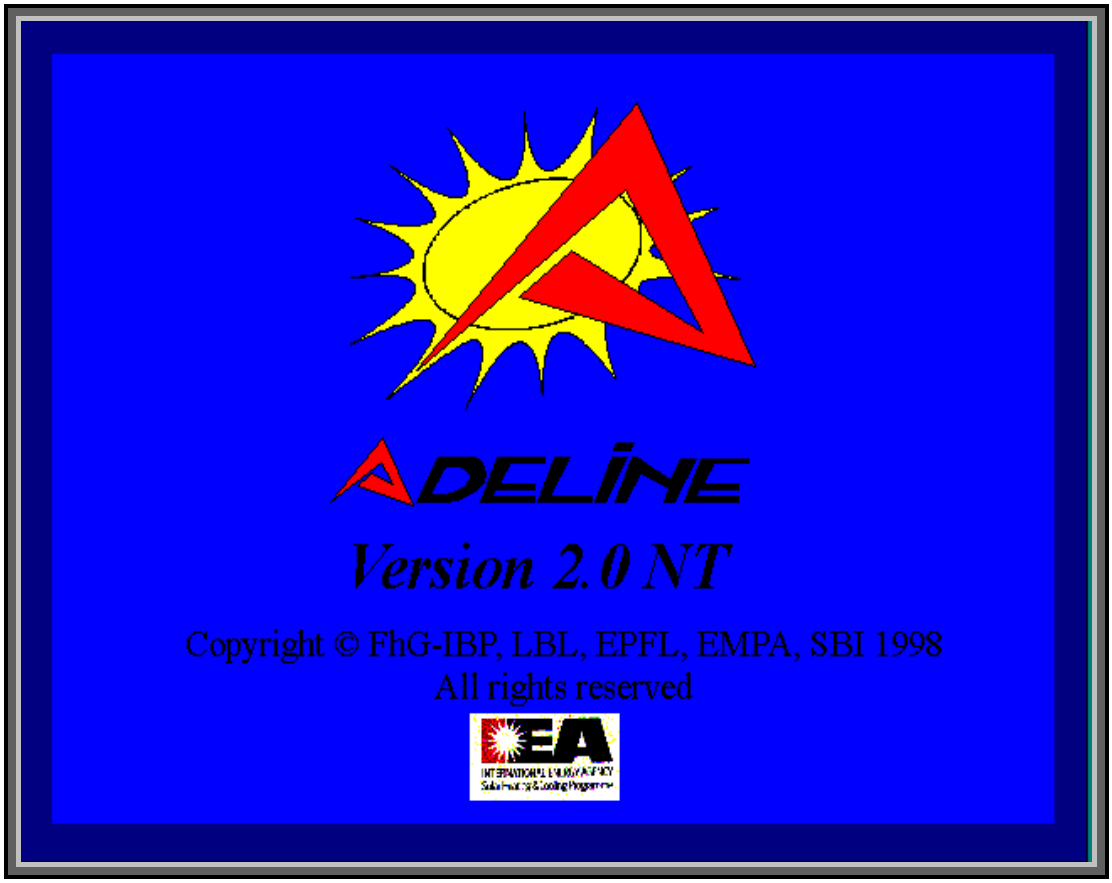
Σχήμα 2: **Μοντέλο των αναφερόμενων ουρανών**

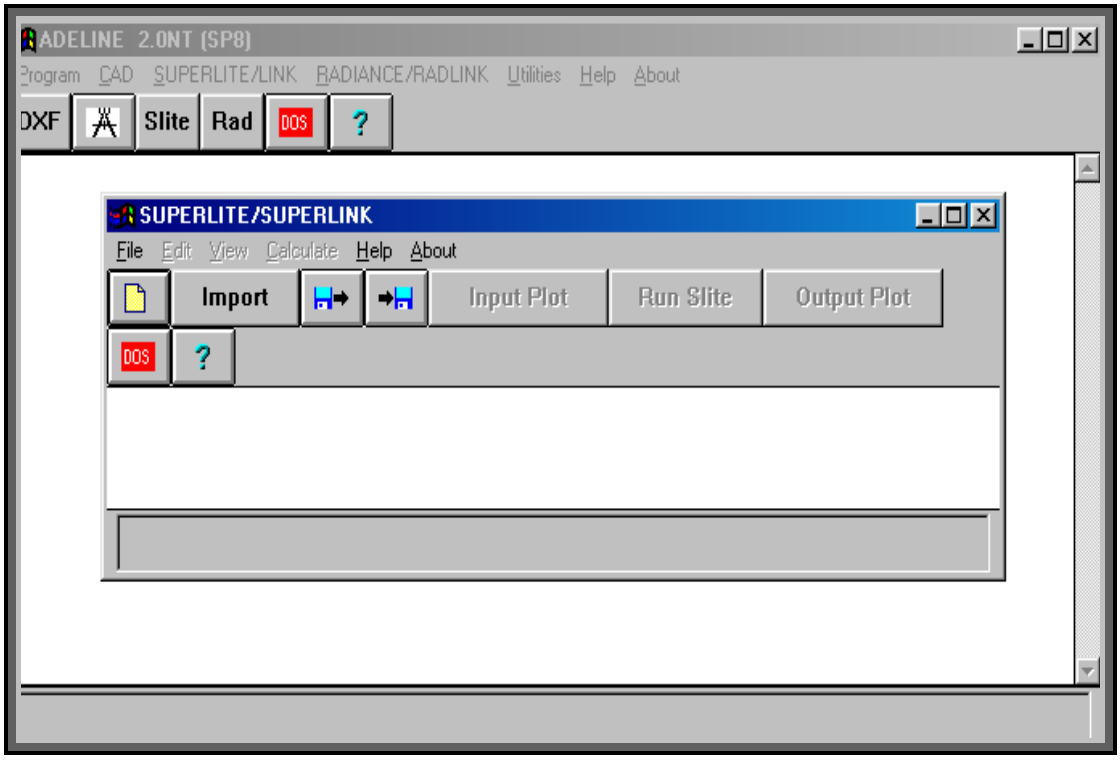
7.3 ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ADELINE

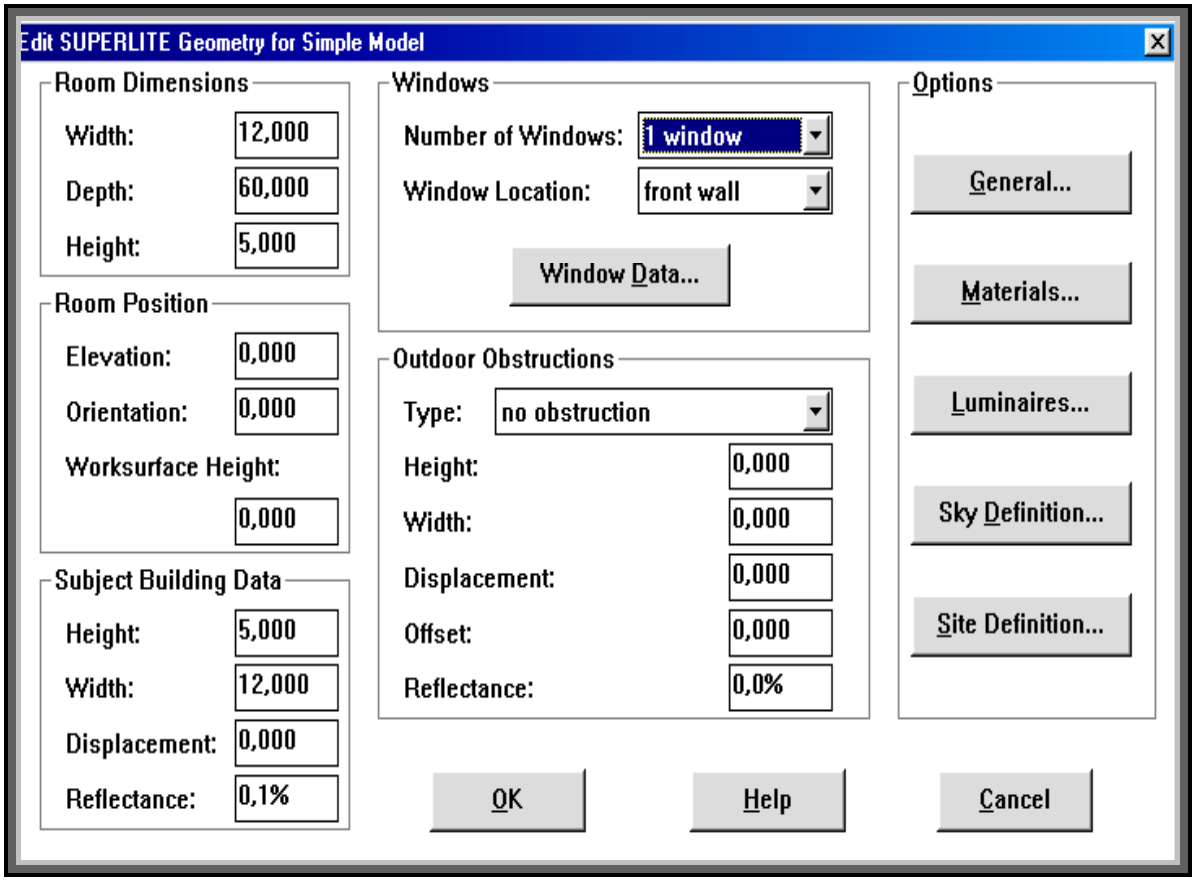
Παρακάτω θα κάνουμε χρήση του προγράμματος της IEA προκειμένου να υπολογίσουμε την ένταση φωτισμού στη ζώνη κατωφλίου της σήραγγας.

Σημειώνουμε ότι το λογισμικό αυτό δεν διαθέτει κάποιο project για χρήση του σε σήραγγες, εντούτοις θα το χρησιμοποιήσουμε κάνοντας τη κατάλληλη προσομοίωση.

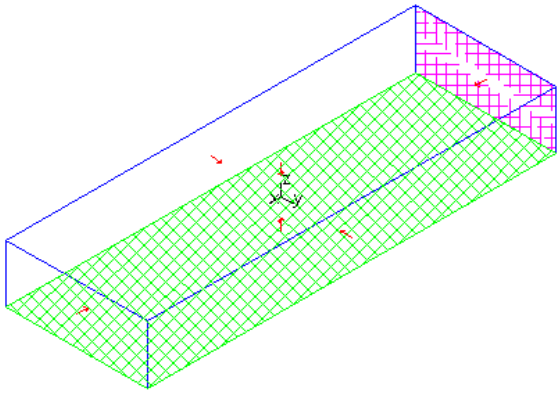
Θεωρούμε τη σήραγγα ως ένα δωμάτιο πλάτους 12 μέτρων, μήκους 35 μέτρων και ύψους 5 μέτρων. Θέτουμε ένα παράθυρο στην είσοδο του, μήκους και πλάτους ίσου με αυτό της σήραγγας ώστε τελικά ο μπροστινός τοίχος της σήραγγας να προσομοιώνει την είσοδο της. Κατόπιν περιστρέφουμε τη σήραγγα κατά 0^0,90^0,180^0 και 270^0 ώστε να έχουμε εκτίμηση της έντασης φωτισμού για κάθε προσανατολισμό της.


ADELINE
Version 2.0 NT
Copyright © FhG-IBP, LBL, EPFL, EMPA, SBI 1998
All rights reserved


ADELINE 2.0NT (SP8)
Program CAD SUPERLITE/LINK RADIANCE/RADLINK Utilities Help About
DXF
Slite
Rad
DOS
?
SUPERLITE/SUPERLINK
File Edit View Calculate Help About
Import
Input Plot
Run Slite
Output Plot
DOS
?



Width = Πλάτος δωματίου **12m**
Depth = Μήκος δωματίου **60m**
Height = Ύψος δωματίου **5m**

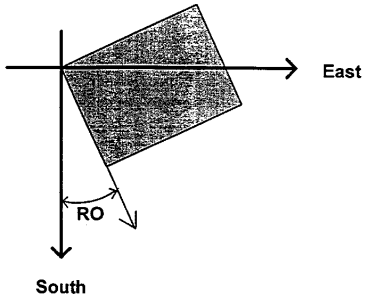


Πληροφορίες σχετικά με τη θέση του δωματίου.
Elevation = Ανύψωση Δωματίου.
Orientation = Προσανατολισμός δωματίου.
Reflectance = Ανάκλαση Κτιρίου.
Μέσος όσος ανάκλασης της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου.
Numbers of windows = Αριθμός παραθύρων μέσα στο δωμάτιο.
Επιτρέπεται μέχρι 5 παράθυρα.
Window location = front wall
Επιλογή θέσης παραθύρου = επιλέξαμε μπροστινό παράθυρο.

Στη συνέχεια δίνουμε πληροφορίες σχετικά με το παράθυρο που επιλέξαμε.

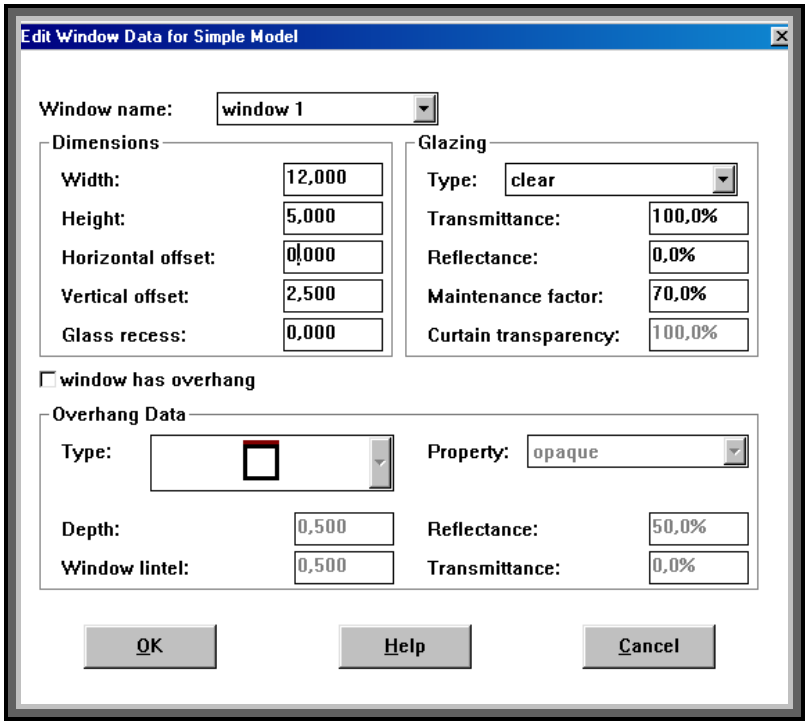
Horizontal offset = Οριζόντια στάθμιση
Μετατόπιση του κέντρου του παραθύρου από τη κεντρική γραμμή του τοίχου. Η μετατόπιση είναι θετική αν το κέντρο του παραθύρου είναι στη δεξιά πλευρά του κέντρου του τοίχου του παραθύρου όπως φαίνεται από το εσωτερικό του δωματίου.
Vertical offset = Κάθετη στάθμιση Μετατόπιση του κέντρου του παραθύρου πάνω από το πάτωμα.

Glass recess = Εσοχή Γυαλιού. Αναφέρεται στην απόσταση από τον εξωτερικό τοίχο ως την εσοχή που κάνει το παράθυρο.



Room Orientation
Προσανατολισμός δωματίου.
Η γωνία μεταξύ Νότου και μιας γραμμής κάθετης στο μπροστινό εξωτερικό τοίχο, σε μοίρες.

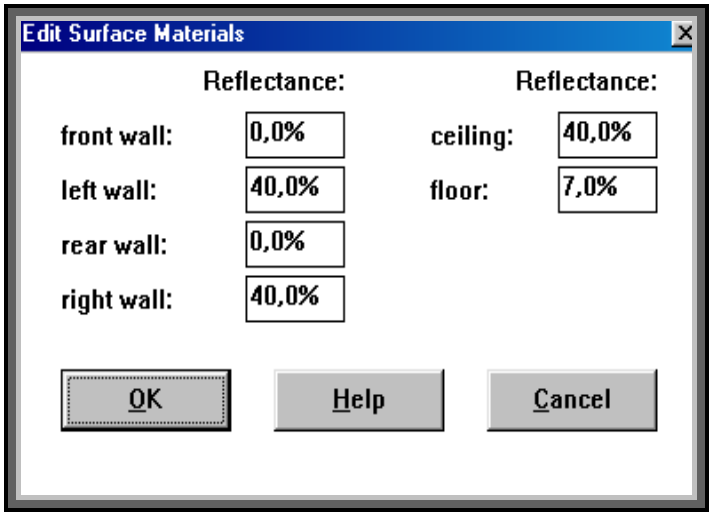
Type glazing = Τύπος Γυαλιού. Το Superlite υποστηρίζει 3 τύπους παραθύρων. Καθαρό παράθυρο, καθαρό με κουρτίνες και διαχυτικό παράθυρο.
Transmittance = Διαπερατότητα γυαλιού. Η αναλογία του συνόλου του ορατού φωτός που λαμβάνεται στο εσωτερικό του γυαλιού(διαβιβαζόμενη ροή).
Maintenance Factor = Συντελεστής Συντήρησης. Αναφέρεται στη συχνότητα καθαρισμού και επανόρθωσης του παραθύρου. Όπως ήδη αναφέραμε στις σήραγγες έχουμε MF=70%.

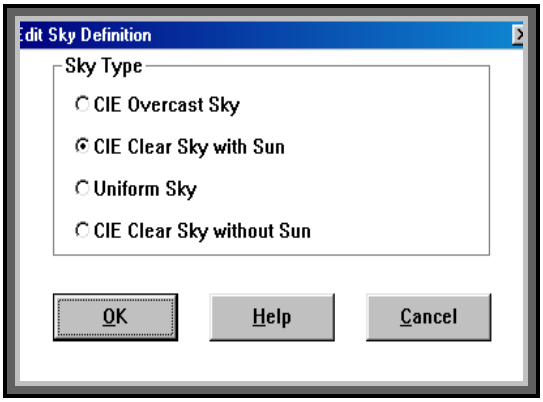


Στη συνέχεια καθορίζουμε τους συντελεστές ανάκλασης του χώρου της σήραγγας.

Material	Reflectance (%)	Material	Reflectance (%)
Bluestone, sandstone	18	Asphalt (free from dirt)	7
Brick			
light buff	48	Earth (moist cultivated)	7
dark buff	40		
dark-red glaze	30	Granolite pavement	17
Cement	27	Grass (dark green)	6
Concrete	40	Gravel	13
Marble (white)	45	Macadam	18
Paint (white)		Slate (dark clay)	8
new	75	Snow	
old	55	new	74
Glass		old	64
clear	7	Vegetation (mean)	25
reflective	20-30		
tinted	7		

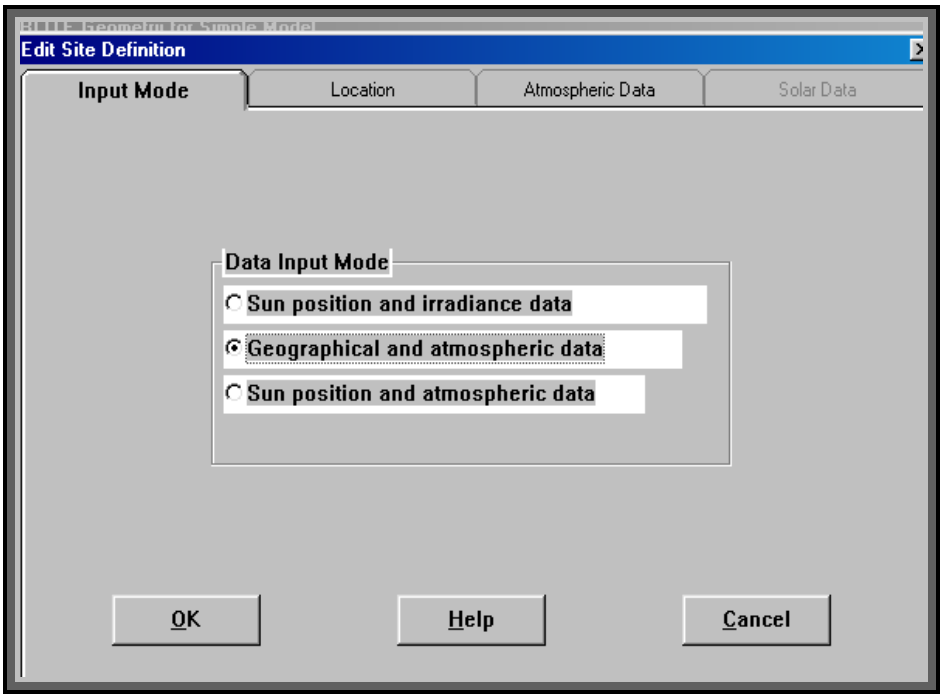
Όπως διακρίνουμε και από το σχήμα επιλέγουμε front wall = 0 % (είσοδος της σήραγγας). Left wall, right wall, ceiling = 40% αφού σύμφωνα με το σχήμα η ανάκλαση του υλικού concrete είναι 40%. Ενώ η ανάκλαση του δρόμου είναι 7%. Έτσι floor= 7%.

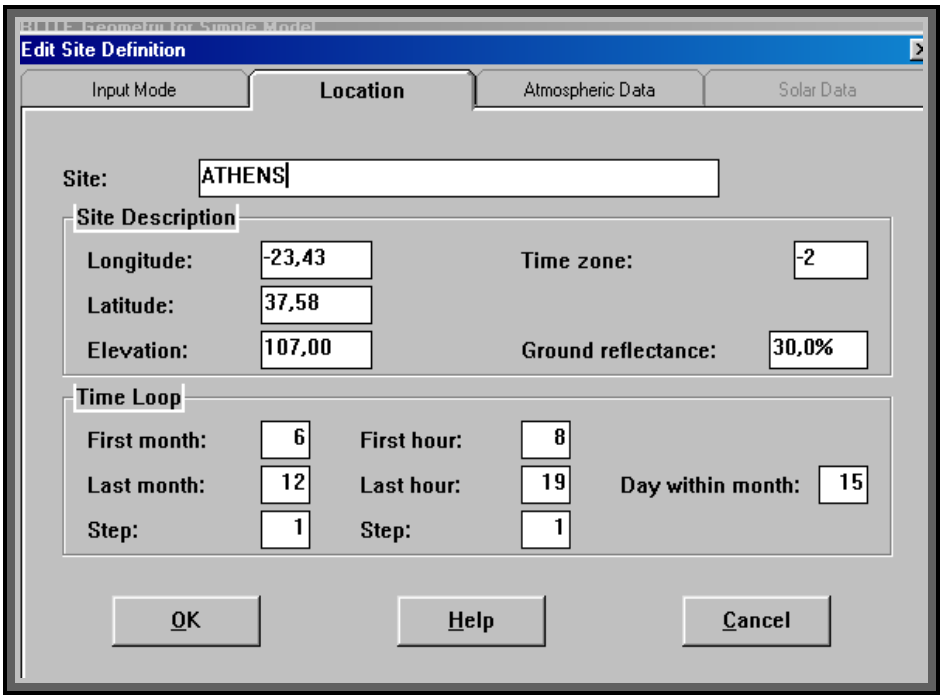




Τις μετρήσεις μας πραγματοποιούμε με το πρότυπο ουρανό της CIE Clear Sky with Sun.

Κατόπιν ακολουθούν τοποθέτηση των γεωγραφικών και ατμοσφαιρικών δεδομένων όπως αυτά μας δόθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.



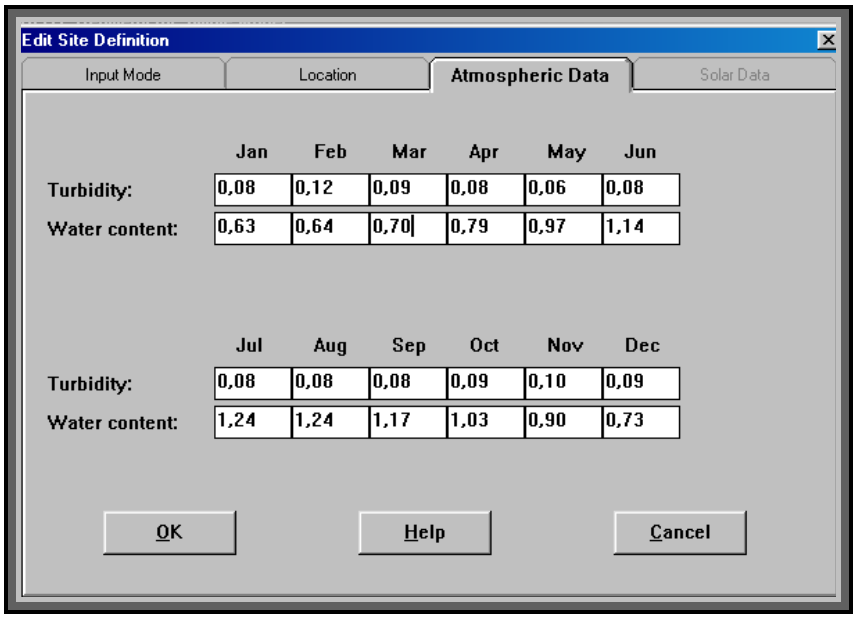


Longitude = Γεωγραφικό Μήκος (Θετικό Δυτικά από το Greenwich).
Latitude = Γεωγραφικό Πλάτος (Θετικό Νότια από τον ισημερινό).
Elevation = Ύψος πάνω από το επίπεδο της Θάλασσας.
Time Zone = Ώρα ζώνης, διαφορά χρόνου από τη ζώνη Greenwich (Αρνητικό ανατολικά του Greenwich).

Time Loop = Χρόνος ανακύκλωσης. Καθορίζουμε το χρόνο, ώρα, μήνα και βήμα επανάληψης καθώς και ποια μέρα του μήνα επιθυμούμε να έχουμε αποτελέσματα.

Turbidity = Συντελεστής ατμοσφαιρικής θολότητας για κάθε μήνα του δείκτη α του Angstrom.

Water Content= Αναλογία νερού στον αέρα μετρημένο σε cm.



ΤΙΜΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΘΟΛΩΣΗΣ

Ιανουάριος	**0,082**
Φεβρουάριος	**0,116**
Μάρτιος	**0,097**
Απρίλιος	**0,080**
Μάιος	**0,064**
Ιούνιος	**0,080**
Ιούλιος	**0,078**
Αύγουστος	**0,075**
Σεπτέμβριος	**0,080**
Οκτώβριος	**0,090**
Νοέμβριος	**0,102**
Δεκέμβριος	**0,088**

Μέσες μηνιαίες τιμές του δείκτη α του Angstrom για την περιοχή της Αθήνας. Οι τιμές αυτές έχουν υπολογιστεί στο χρονικό διάστημα 1975-1995.

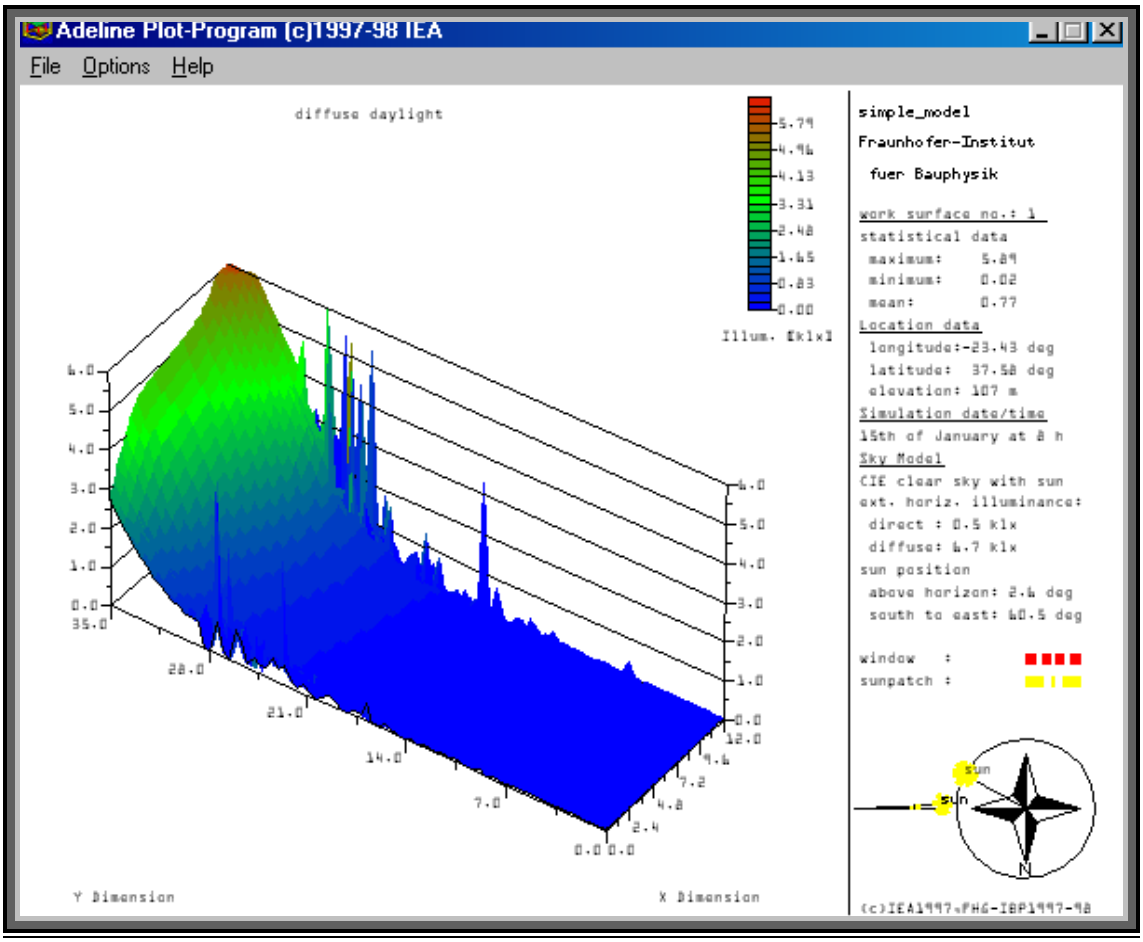
Data	Meteorological station of the National Observatory of Athens (Lofos Nimfon, Thession) (latitude 37° 58' B, longitude 23° 43' A, altitude 107 m above MSL)													
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	Time period
Mean ambient temperature (°C)	9.3	9.9	11.3	15.3	20.0	24.6	27.6	27.4	23.5	19.0	14.7	11.0	17.8	1931-1960
	9.3	9.8	11.7	15.5	20.2	24.6	27.0	26.6	23.3	18.3	14.5	11.1	17.6	1961-1990
Mean maximum ambient temperature (°C)	12.9	13.9	15.5	20.2	25.0	29.9	33.2	33.1	29.0	23.8	18.7	14.6	22.5	1931-1960
	12.9	13.6	16.0	20.3	25.3	29.8	32.6	32.3	28.9	23.1	18.6	14.7	22.3	1961-1990
Mean minimum ambient temperature (°C)	6.4	6.7	7.8	11.3	15.9	20.0	22.8	22.8	19.3	15.4	11.7	8.2	14.0	1931-1960
	6.5	6.9	8.4	11.6	15.4	20.1	22.5	22.3	19.2	14.9	11.4	8.3	14.0	1961-1990
Mean precipitation (mm)	58.8	36.5	37.5	22.0	22.5	13.6	5.7	7.0	15.3	51.0	55.7	71.1	396.8	1931-1960
	44.6	48.3	42.6	28.2	17.2	9.7	4.2	4.6	11.9	47.7	50.6	66.6	376.1	1961-1990
Average number of raining days	17	12	12	10	9	5	2	3	4	9	13	16	112	1931-1960
	13	13	11	10	7	5	2	2	3	9	11	13	99	1961-1990
Average relative humidity (%)	74	70	67	63	59	53	47	47	56	67	73	75	63	1931-1960
	72	71	68	62	58	52	48	49	56	66	73	73	62	1961-1990
Mean atmospheric pressure (mb)	752.5	752.0	752.2	751.2	751.2	750.5	749.3	749.7	752.3	753.4	753.6	753.3	751.8	1931-1960
	753.4	752.3	751.9	750.4	750.8	750.3	749.8	750.0	752.2	753.9	753.9	753.2	751.8	1961-1990
Mean absolute humidity (cm Hg)	**0.66**	**0.65**	**0.68**	**0.80**	**1.01**	**1.18**	**1.24**	**1.25**	**1.19**	**1.08**	**0.92**	**0.75**	**0.95**	1931-1960
	0.64	**0.65**	**0.70**	**0.79**	**0.97**	**1.14**	**1.24**	**1.24**	**1.17**	**1.03**	**0.90**	**0.73**	**0.93**	1961-1990
Mean cloudiness (octals)	6.1	5.5	5.6	4.8	4.6	2.9	1.4	1.3	2.4	4.3	5.7	5.9	4.2	1931-1960
	5.5	5.8	5.4	4.9	4.3	3.2	2.0	2.0	2.8	4.1	5.3	5.6	4.2	1961-1990

7.3.1 Αποτελέσματα της χρήσης του ADELINE

Στη συνέχεια ακολουθεί μια εκτίμηση του φυσικού φωτισμού που εισέρχεται στη ζώνη κατωφλίου (Threshold Zone). Επαναλαμβάνουμε ότι τα μεγέθη που θα χρησιμοποιήσουμε είναι αυτά της **Έντασης Φωτισμού (Lux)** και όχι της Λαμπρότητας.

Αρχικά υπολογίζουμε για κάθε 15η μέρα του μήνα την ένταση φωτισμού του σε κάθε προσανατολισμό της σήραγγας. Τα αποτελέσματα παρέχονται τόσο σε γραφική μορφή (τρισδιάστατη και δισδιάστατη) όσο και σε μορφή πίνακα. Κατόπιν για κάθε προσανατολισμό και μήνα δίνουμε τα στατιστικά δεδομένα όπου μπορούμε να έχουμε πιο περιεκτική εκτίμηση της μεταβολής της έντασης φωτισμού για κάθε ώρα, μήνα και προσανατολισμό της σήραγγας.

Έτσι για τον μήνα Ιανουάριο σε προσανατολισμό 0^0 έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.



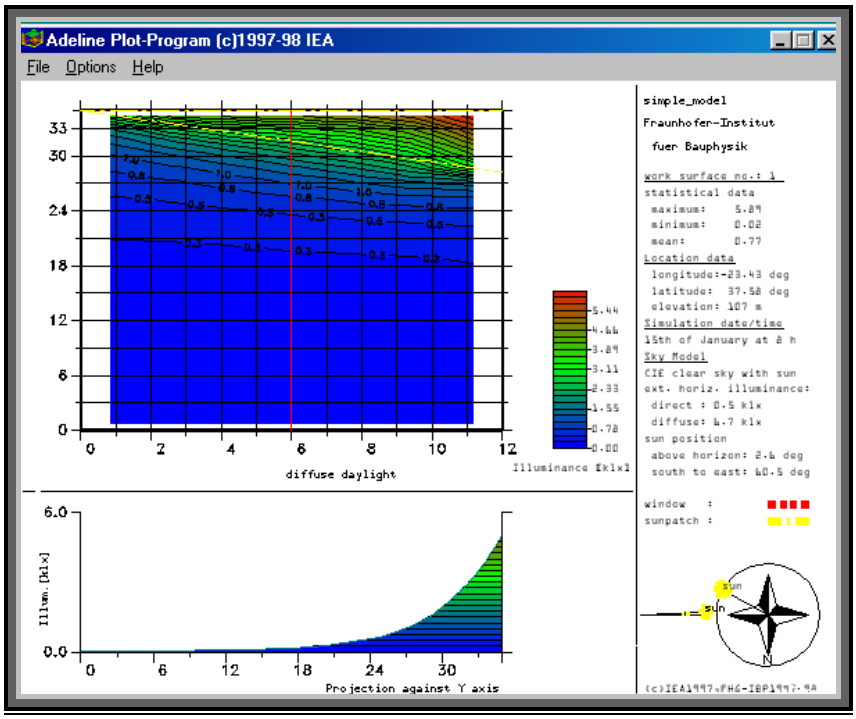
Γραφική έκφραση αποτελεσμάτων όπου για το μέγεθος ένταση φωτισμού έχουμε:

Maximum=**5.89 Klux**
Minimum=**0.02 Klux**
Mean= **0.77 Klux**

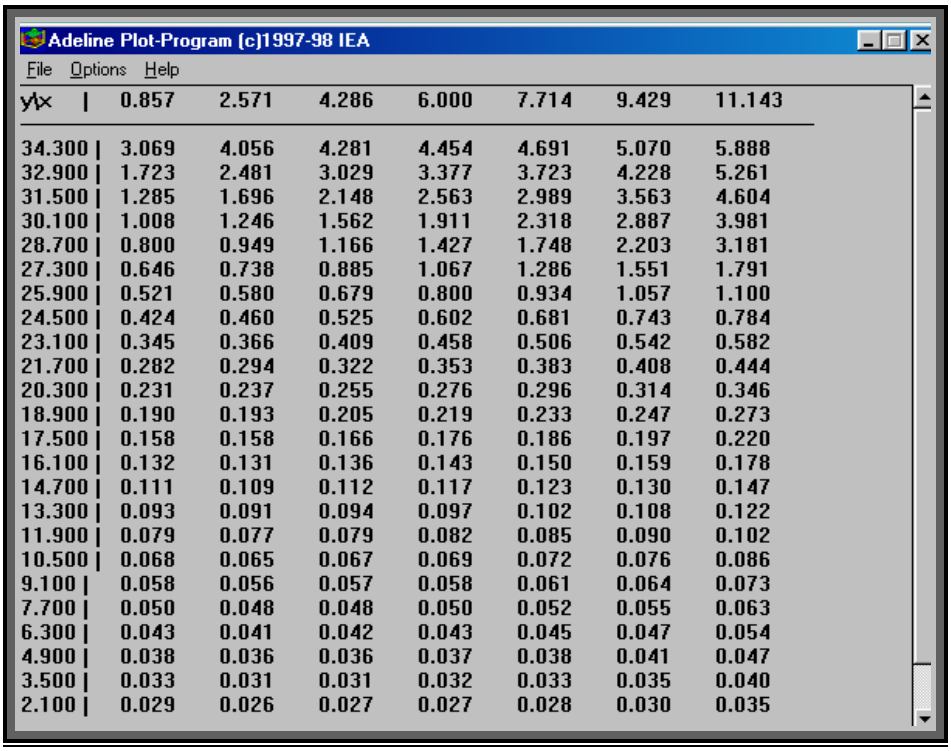
Προσομοίωση ημέρας /ώρας

15 Ιανουαρίου 8:00

Τις μετρήσεις μας λάβαμε με τον πρότυπο ουρανό της **CIE Clear Sky with Sun**.
Επίσης μας δίνεται η θέση του ήλιου στον ορίζοντα.
Άλλη μία μορφή (δισδιάστατη) δίνεται παρακάτω.



Αναλυτικά τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα είναι:



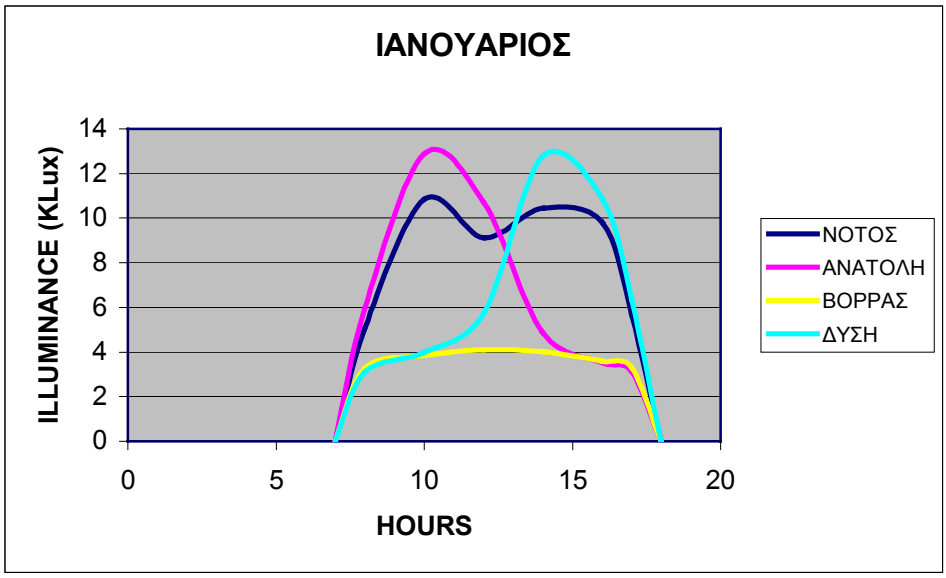
Adeline Plot-Program (c)1997-98 IEA

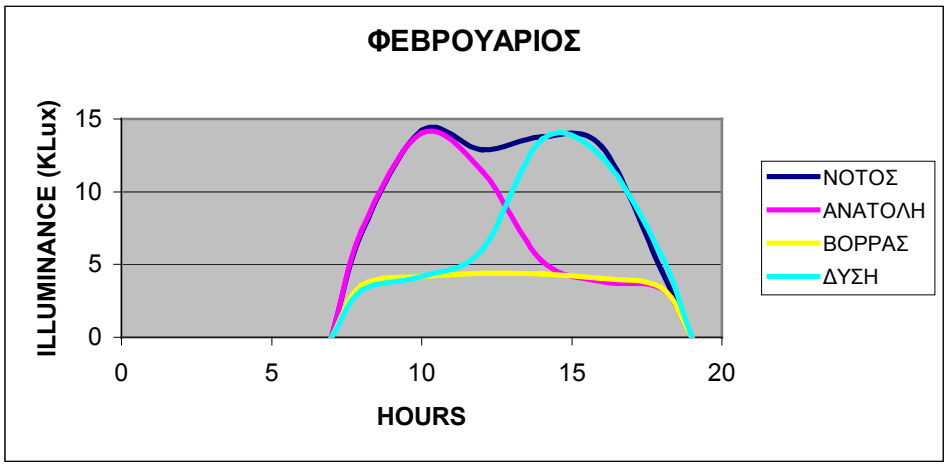
File Options Help

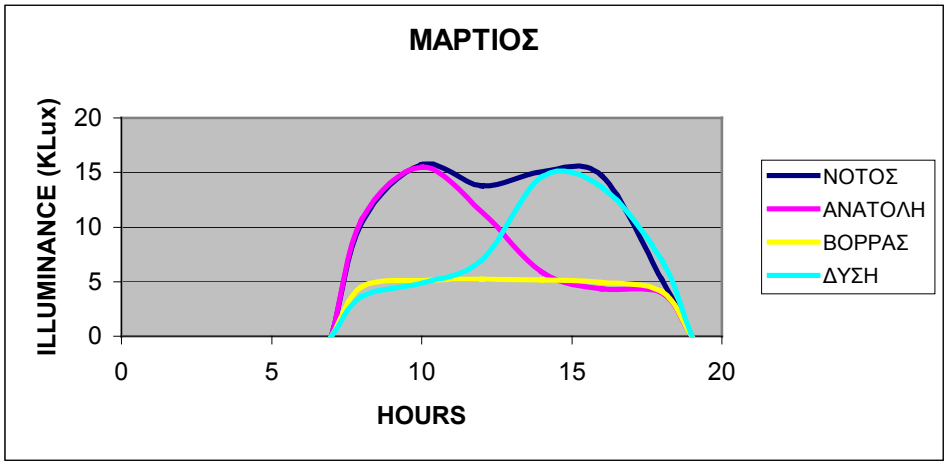
y\x	0.857	2.571	4.286	6.000	7.714	9.429	11.143
34.300	3.069	4.056	4.281	4.454	4.691	5.070	5.888
32.900	1.723	2.481	3.029	3.377	3.723	4.228	5.261
31.500	1.285	1.696	2.148	2.563	2.989	3.563	4.604
30.100	1.008	1.246	1.562	1.911	2.318	2.887	3.981
28.700	0.800	0.949	1.166	1.427	1.748	2.203	3.181
27.300	0.646	0.738	0.885	1.067	1.286	1.551	1.791
25.900	0.521	0.580	0.679	0.800	0.934	1.057	1.100
24.500	0.424	0.460	0.525	0.602	0.681	0.743	0.784
23.100	0.345	0.366	0.409	0.458	0.506	0.542	0.582
21.700	0.282	0.294	0.322	0.353	0.383	0.408	0.444
20.300	0.231	0.237	0.255	0.276	0.296	0.314	0.346
18.900	0.190	0.193	0.205	0.219	0.233	0.247	0.273
17.500	0.158	0.158	0.166	0.176	0.186	0.197	0.220
16.100	0.132	0.131	0.136	0.143	0.150	0.159	0.178
14.700	0.111	0.109	0.112	0.117	0.123	0.130	0.147
13.300	0.093	0.091	0.094	0.097	0.102	0.108	0.122
11.900	0.079	0.077	0.079	0.082	0.085	0.090	0.102
10.500	0.068	0.065	0.067	0.069	0.072	0.076	0.086
9.100	0.058	0.056	0.057	0.058	0.061	0.064	0.073
7.700	0.050	0.048	0.048	0.050	0.052	0.055	0.063
6.300	0.043	0.041	0.042	0.043	0.045	0.047	0.054
4.900	0.038	0.036	0.036	0.037	0.038	0.041	0.047
3.500	0.033	0.031	0.031	0.032	0.033	0.035	0.040
2.100	0.029	0.026	0.027	0.027	0.028	0.030	0.035

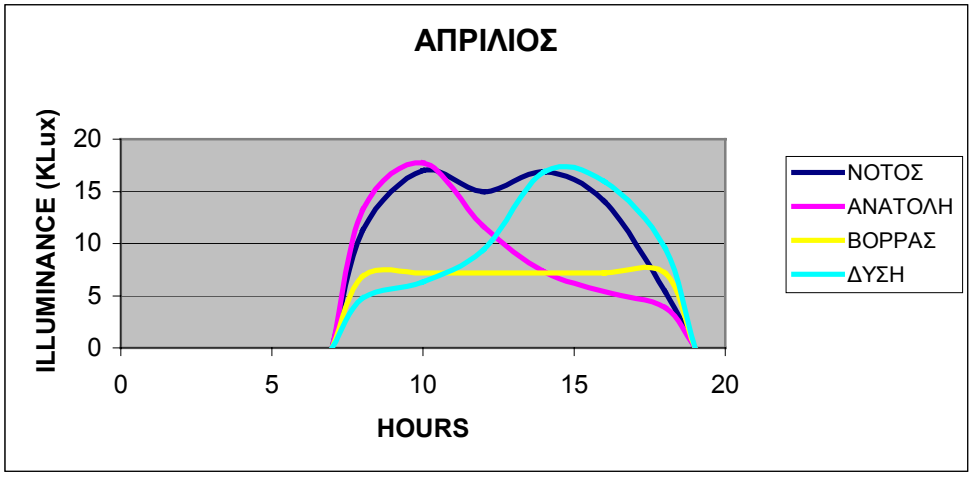
Έτσι λαμβάνουμε για κάθε μήνα, ώρα, και προσανατολισμό την ένταση φωτισμού στη ζώνη κατωφλίου της σήραγγας.

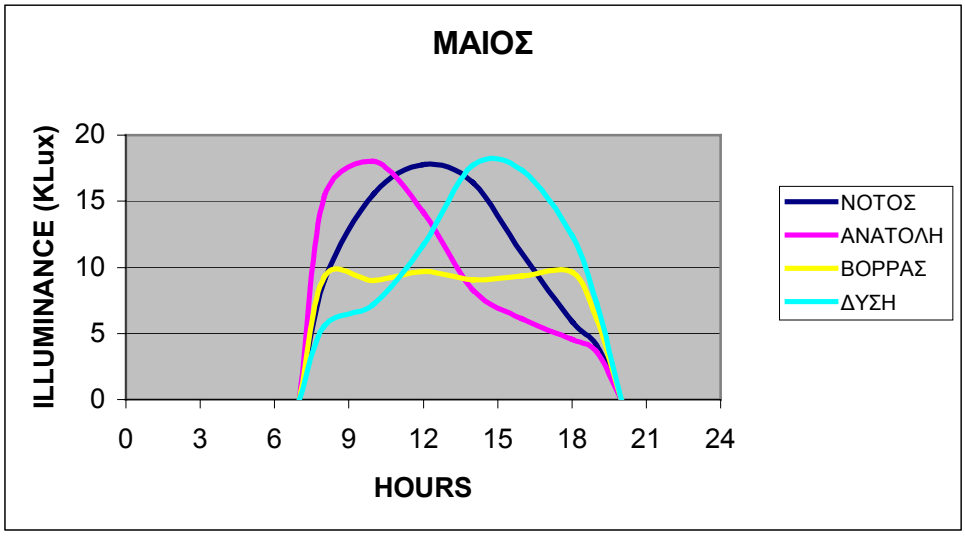
Παρακάτω δίνουμε συνοπτικά τα στατιστικά αποτελέσματα για κάθε μήνα και προσανατολισμό με βάση το μέγεθος της **μέγιστης έντασης φωτισμού** στην είσοδο της προσομοιωμένης σήραγγας (ζώνη κατωφλίου).

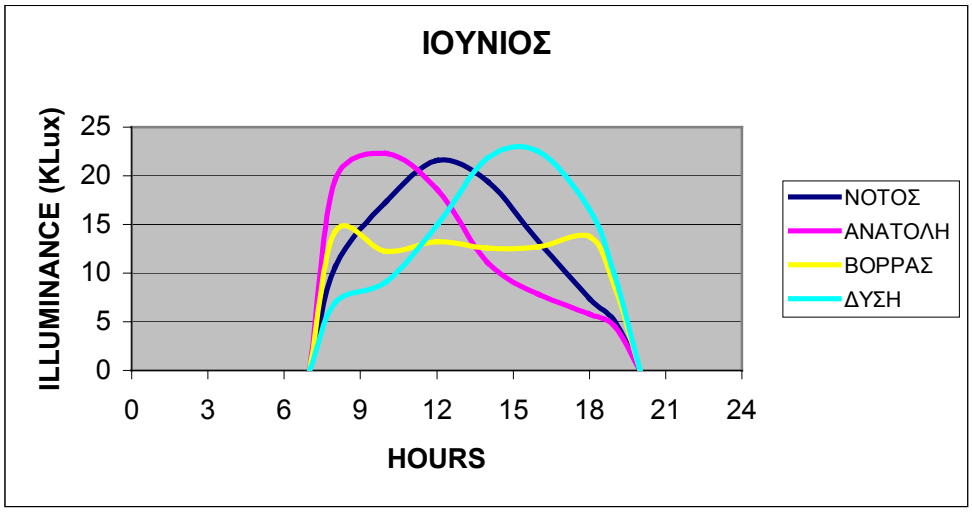


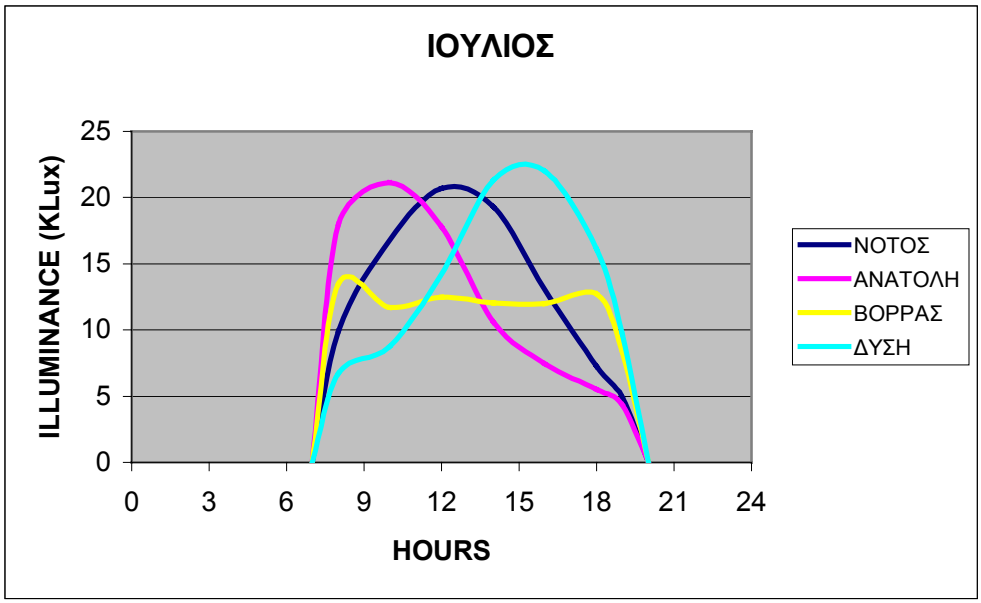


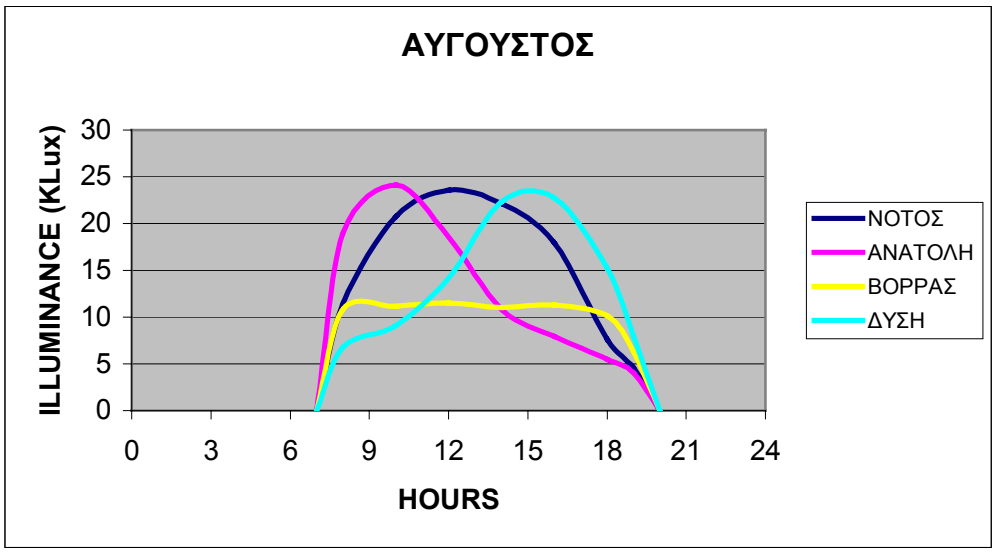


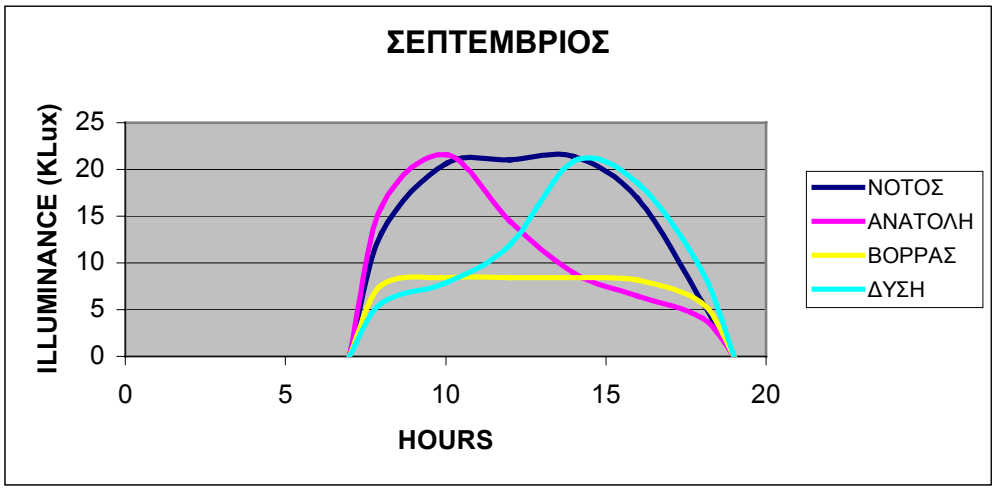

ΑΠΡΙΛΙΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ

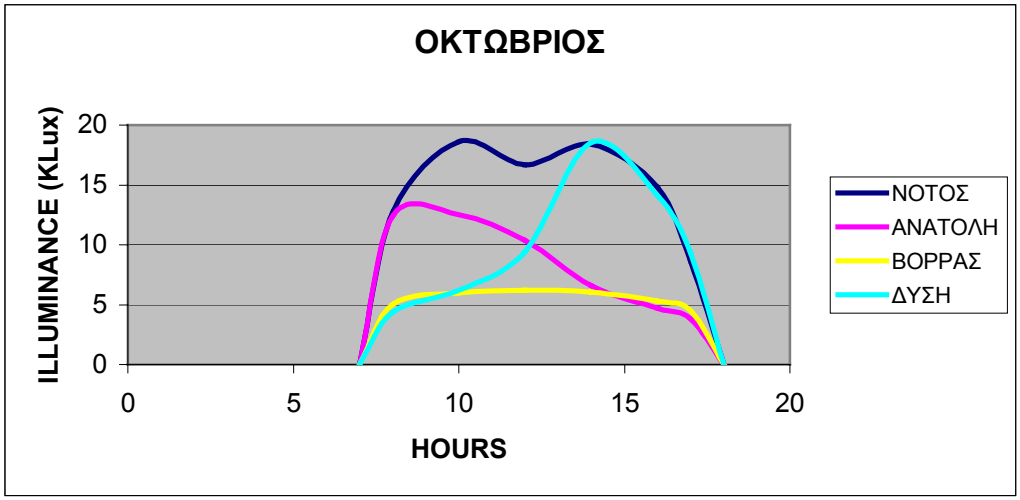

ΜΑΙΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
20
15
10
5
0
0
3
6
9
12
15
18
21
24
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ

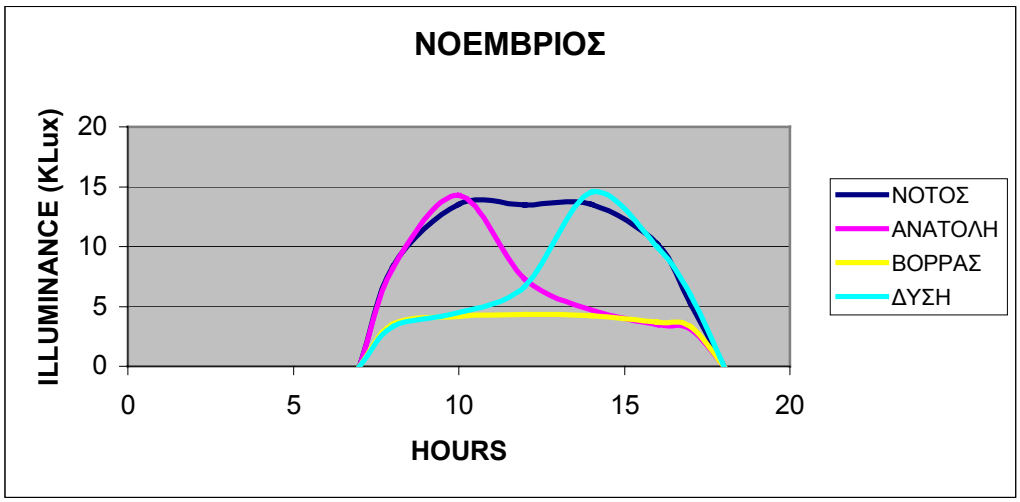

ΙΟΥΝΙΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
25
20
15
10
5
0
0
3
6
9
12
15
18
21
24
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ

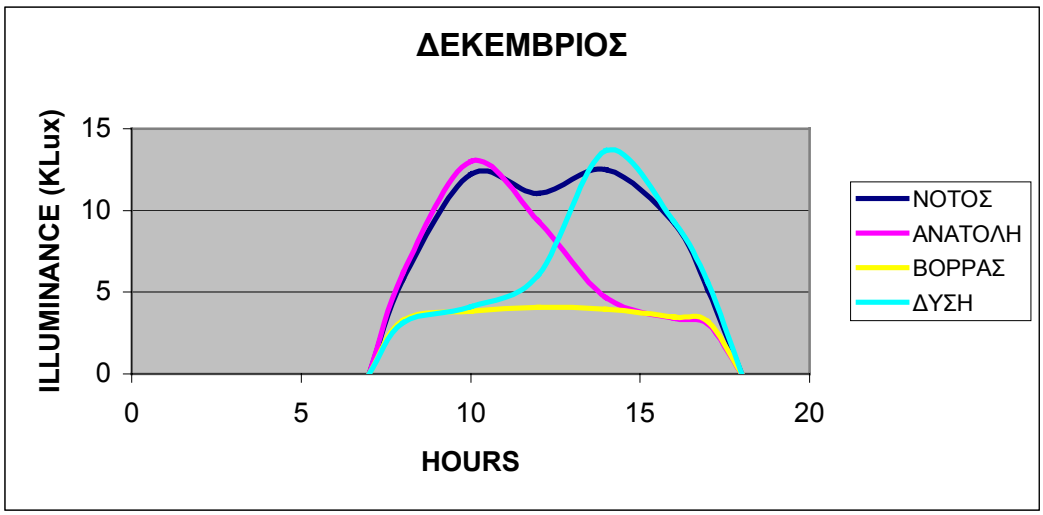

ΙΟΥΛΙΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
25
20
15
10
5
0
0
3
6
9
12
15
18
21
24
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ


ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
30
25
20
15
10
5
0
0
3
6
9
12
15
18
21
24
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ


ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ

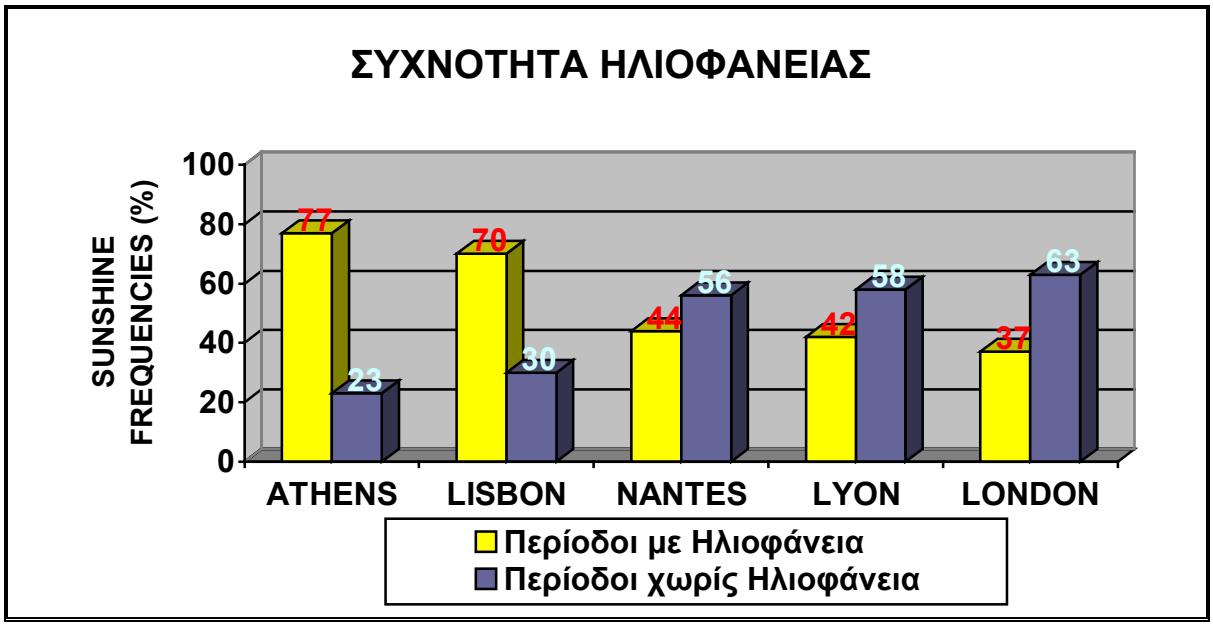

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ


ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ


ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ
ILLUMINANCE (KLux)
15
10
5
0
0
5
10
15
20
HOURS
ΝΟΤΟΣ
ΑΝΑΤΟΛΗ
ΒΟΡΡΑΣ
ΔΥΣΗ

Ο ηλιακός φυσικός φωτισμός αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο για τους μηχανικούς φωτισμού, για αυτό και στις μελέτες τους τον λαμβάνουν πάντοτε υπόψη τους.

Από μετρήσεις και έρευνες που έχουν γίνει από την επιτροπή των εμπειρογνωμόνων των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων για τη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού στην Ευρώπη και του σχεδιασμού ενός Ευρωπαϊκού άτλαντα φυσικού φωτισμού, έχει διαπιστωθεί ότι η Ελλάδα έχει πολύ υψηλή συχνότητα ηλιοφάνειας, φτάνοντας το ποσοστό 77%, από τα υψηλότερα ποσοστά στην Ευρώπη όπως δείχνει το **Σχήμα 3**. Έτσι είναι χρήσιμο για τους μηχανικούς να γνωρίζουν πώς να χρησιμοποιήσουν ένα τόσο δυνατό εργαλείο όσο ο φυσικός ηλιακός φωτισμός.



Σχήμα 3: **Συχνότητα Ηλιοφάνειας σε διάφορες Ευρωπαϊκές πόλεις**.

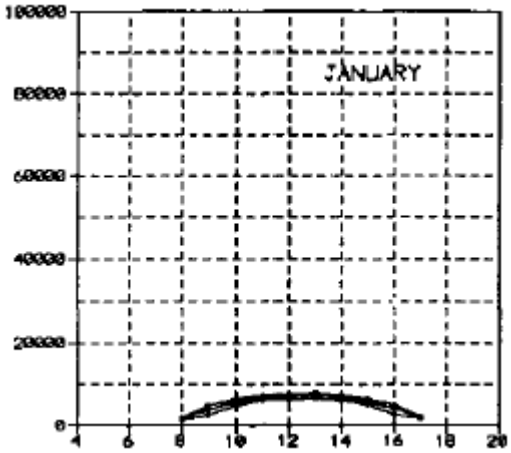
Σε μια ενεργοβόρα εφαρμογή όπως αυτή του φωτισμού σηράγγων είναι χρήσιμο να αναπτυχθούν μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας, πέρα αυτών που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 6. Είναι πολύ σημαντικό να αναπτύξουμε μεθόδους εξοικονόμησης κάνοντας χρήση του φυσικού φωτισμού που είναι άφθονο, οικονομικό και σε υψηλές συχνότητες στη χώρα μας. Κάνοντας χρήση των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας με φυσικό φωτισμό σε συνδυασμό αυτών των μεθόδων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 6 μπορούμε να επιτύχουμε τον βέλτιστο σχεδιασμό (που αφορούν τις οικονομικές παραμέτρους της σχεδίασης, με πρώτιστο όμως παράγοντα την ασφάλεια των χρηστών).

Από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών το 1992 έχουν ληφθεί μετρήσεις της μέγιστης, μέσης και μικρότερης τιμής της κάθετης ημερήσιας Έντασης Φωτισμού (Illuminance) σε κάθε κατεύθυνση για τους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο, τους πλέον αντιπροσωπευτικούς μήνες για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα.

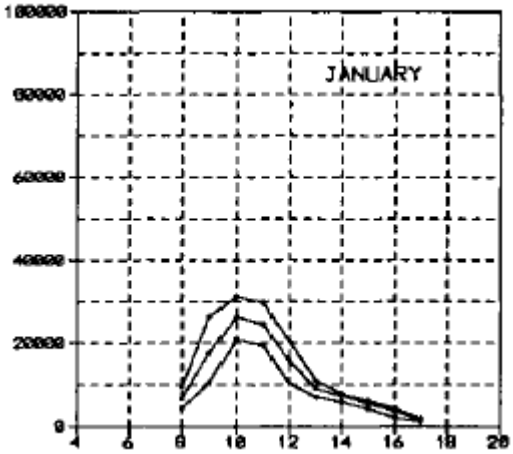
Κάνοντας συγκρίσεις των τιμών αυτών, με αυτές που λάβαμε από το πρόγραμμα ADELINE (μέτρηση Έντασης Φωτισμού στη προσομοιωμένη ζώνη κατωφλίου, τη πιο ενεργοβόρα ζώνη της σήραγγας), μπορούμε να έχουμε μια ποιοτική εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνετε με χρήση φυσικού φωτισμού στην είσοδο της σήραγγας.

Παρακάτω δίνονται αρχικά η ημερήσια μέτρηση Έντασης Φωτισμού κατά το βορρά , την ανατολή, το νότο και τη δύση από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών στα **Σχήματα 4, 5** και κατόπιν τα συγκριτικά διαγράμματα της Έντασης φωτισμού στη σήραγγα και του φυσικού φωτισμού που επικρατεί έξω από αυτή κατά τις αντίστοιχες κατευθύνσεις, στα **Σχήματα 6, 7**.

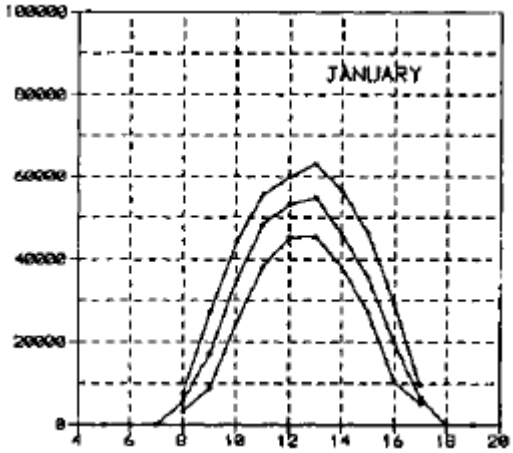
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ



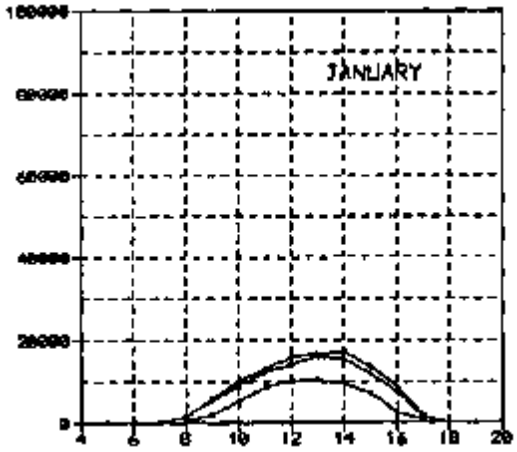
(α).**Μέγιστη, Μέση και Μικρότερη ημερήσια κάθετη Ένταση Φωτισμού για το μήνα Ιανουάριο, βόρεια.**



(β).**Μέγιστη, Μέση και Μικρότερη ημερήσια κάθετη Ένταση Φωτισμού για το μήνα Ιανουάριο, ανατολικά.**



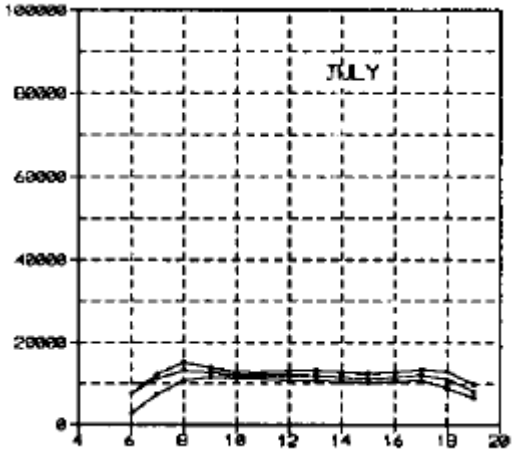
(γ).**Μέγιστη, Μέση και Μικρότερη ημερήσια κάθετη Ένταση Φωτισμού για το μήνα Ιανουάριο, νότια.**



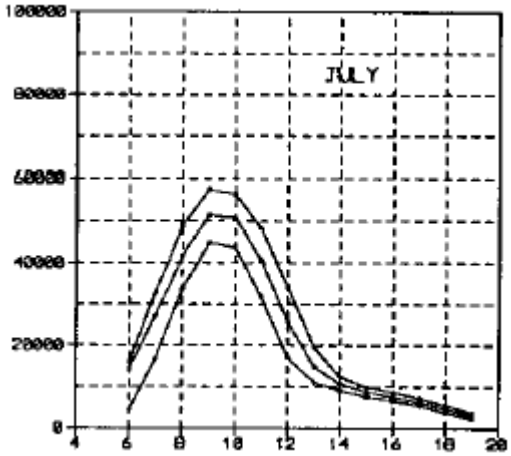
(δ).**Μέγιστη, Μέση και Μικρότερη ημερήσια κάθετη Ένταση Φωτισμού για το μήνα Ιανουάριο, δυτικά.**

Σχήμα 4.

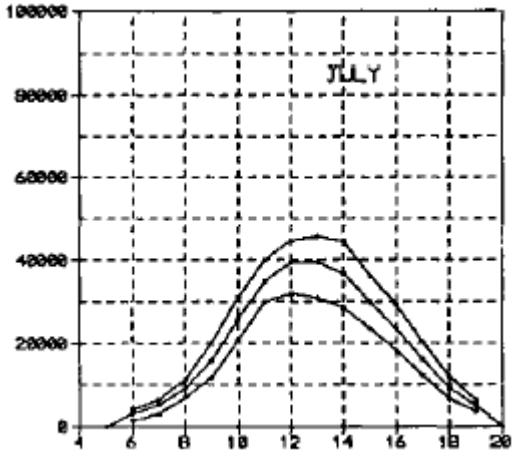
ΙΟΥΛΙΟΣ



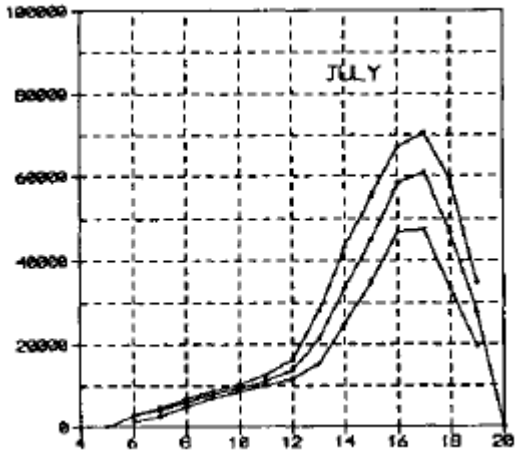
(α).**Μέγιστη, Μέση και Μικρότερη ημερήσια κάθετη Ένταση Φωτισμού για το μήνα Ιούλιο, βόρεια.**



(β).**Μέγιστη, Μέση και Μικρότερη ημερήσια κάθετη Ένταση Φωτισμού για το μήνα Ιούλιο, ανατολικά.**



(γ).**Μέγιστη, Μέση και Μικρότερη ημερήσια κάθετη Ένταση Φωτισμού για το μήνα Ιούλιο, νότια.**

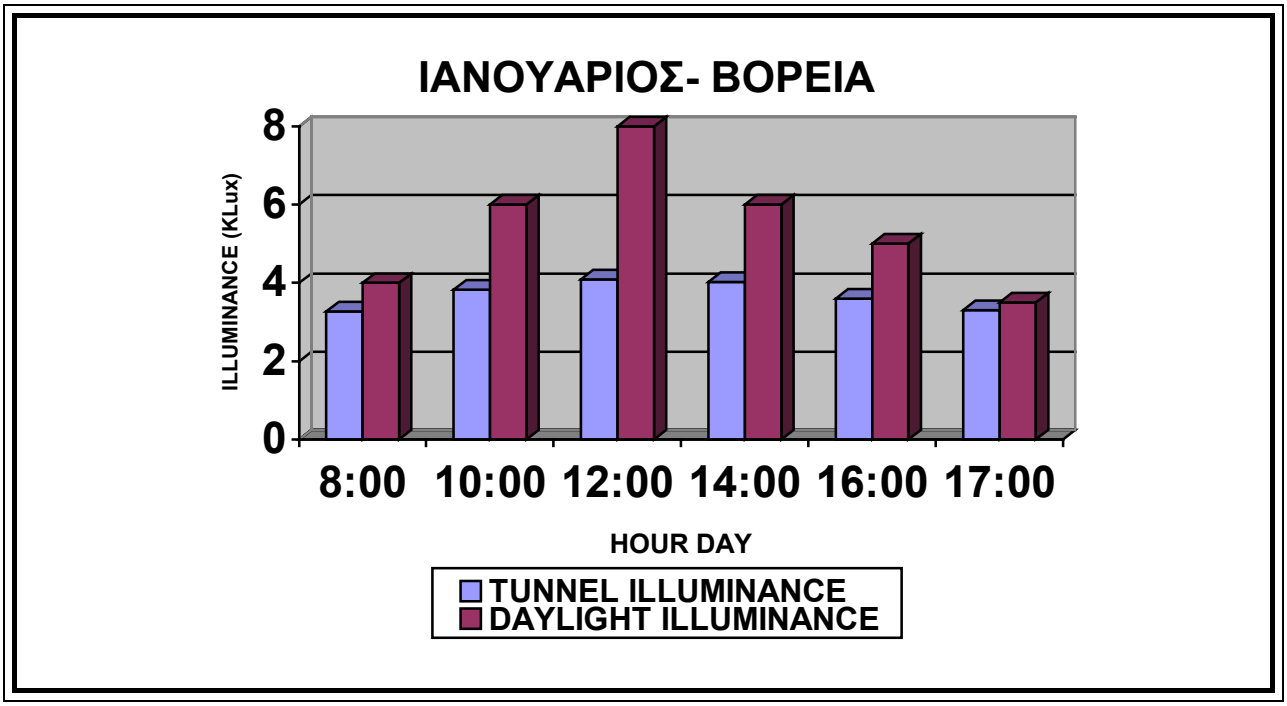


(δ).**Μέγιστη, Μέση και Μικρότερη ημερήσια κάθετη Ένταση Φωτισμού για το μήνα Ιούλιο, δυτικά.**

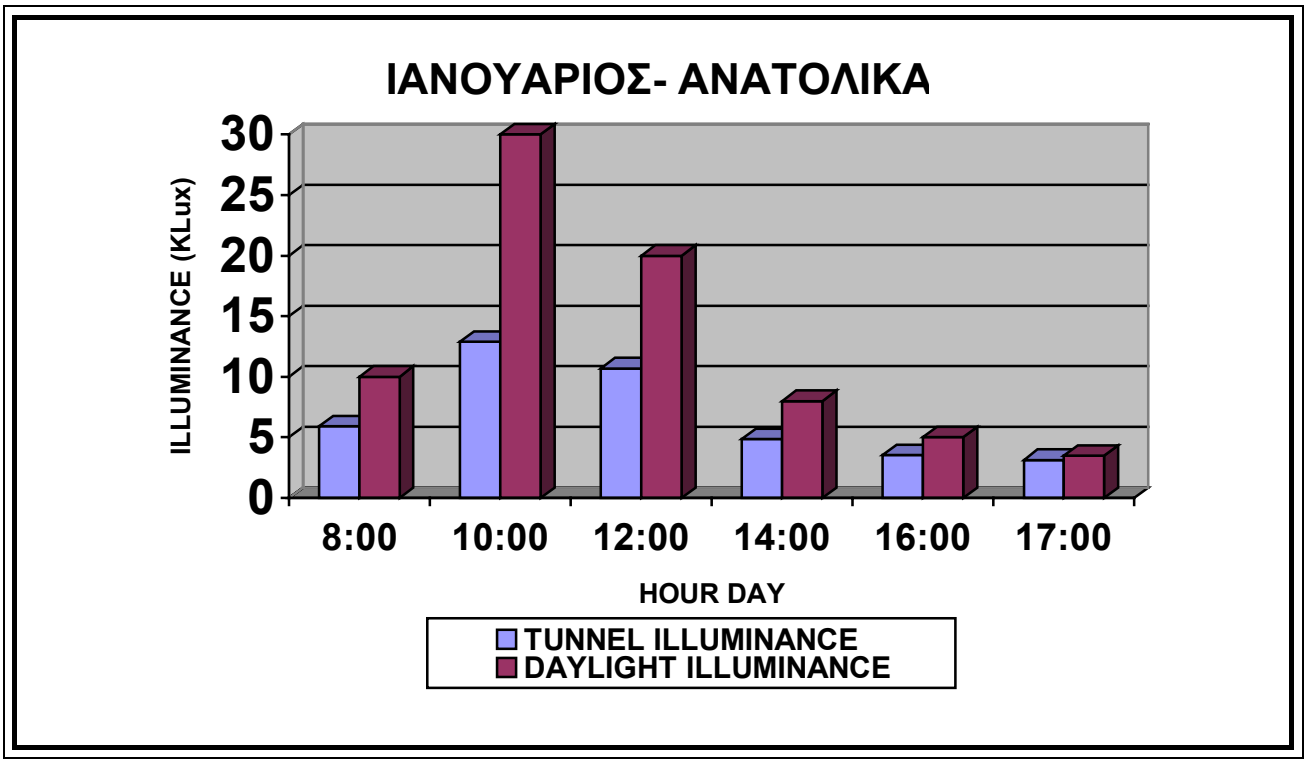
Σχήμα 5.

Τα συγκριτικά διαγράμματα δίνονται παρακάτω για το μήνα Ιανουάριο.

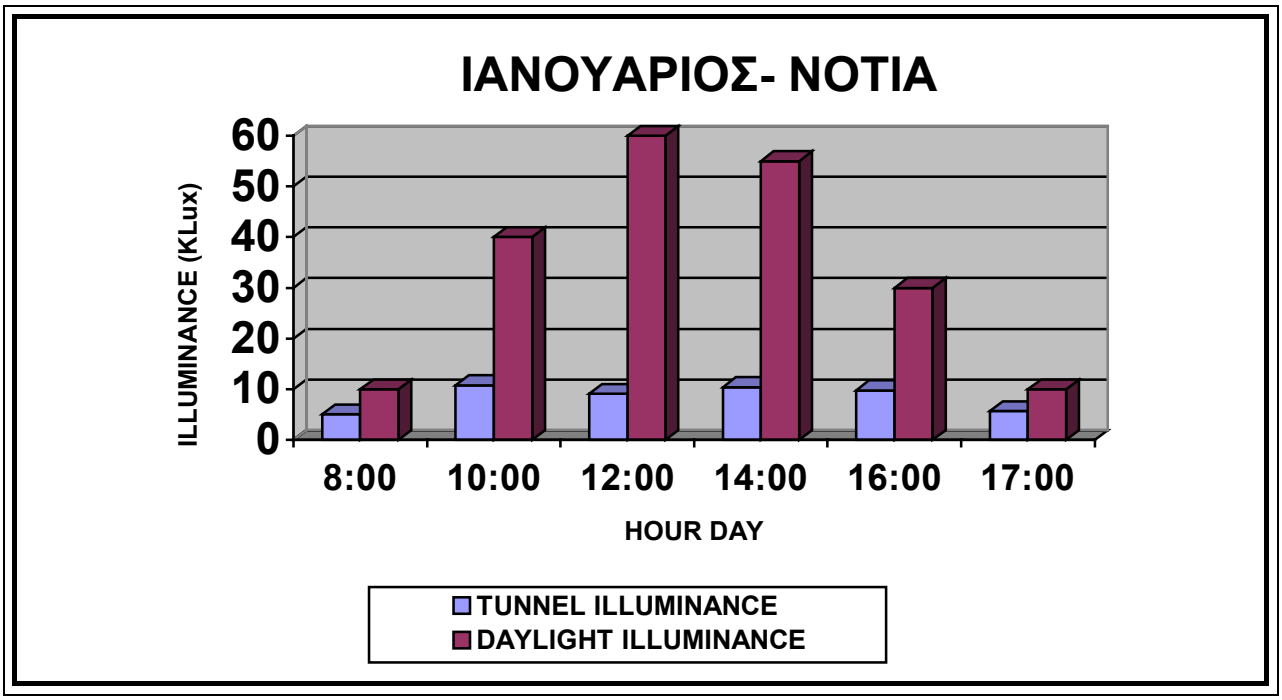
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ



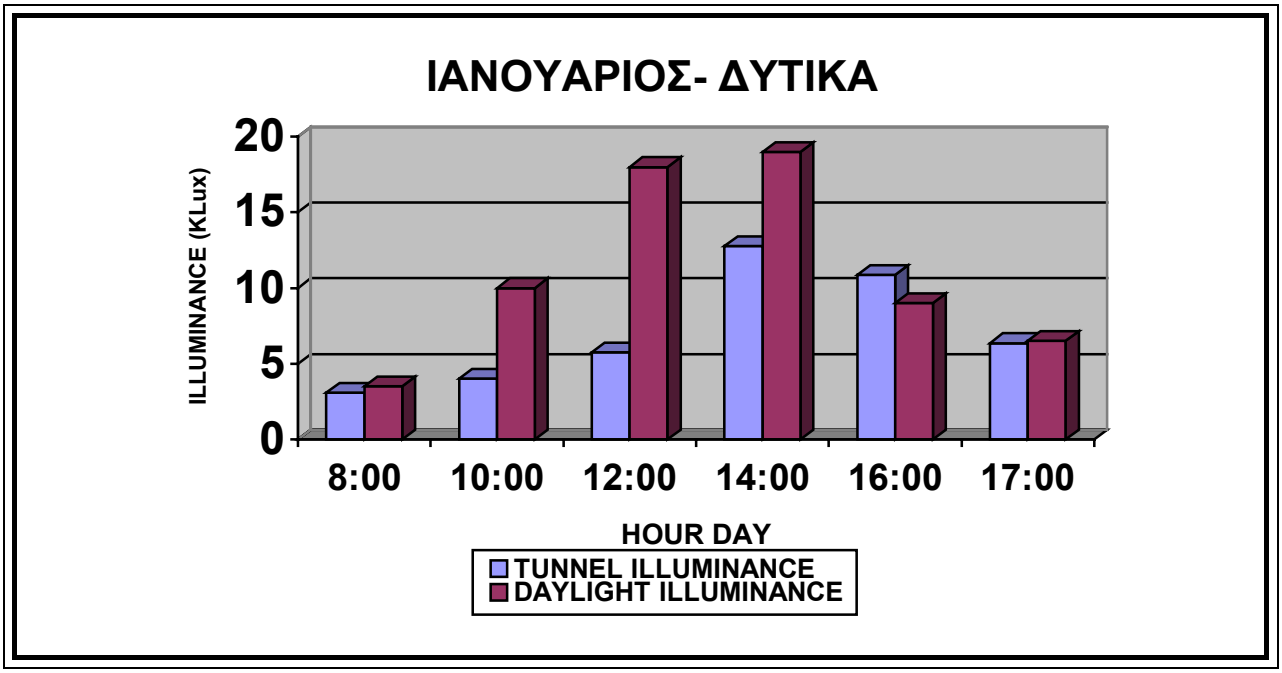
Σχήμα 6.(α)



Σχήμα 6.(β)

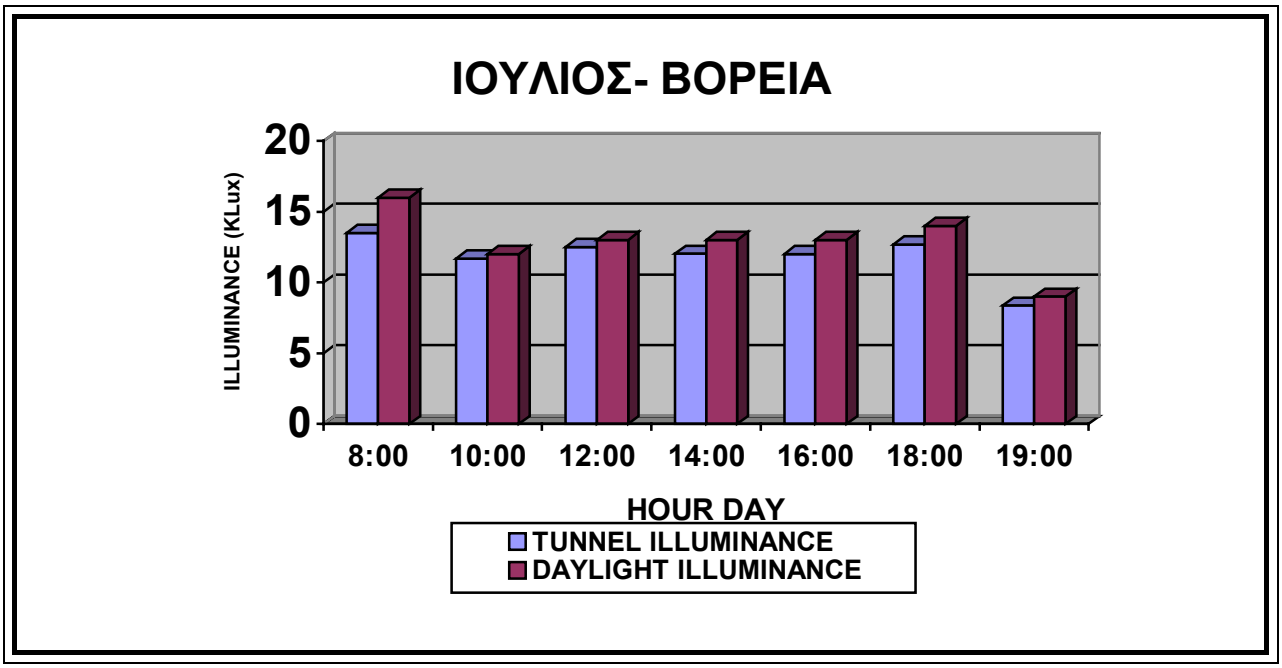


Σχήμα 6.(γ)

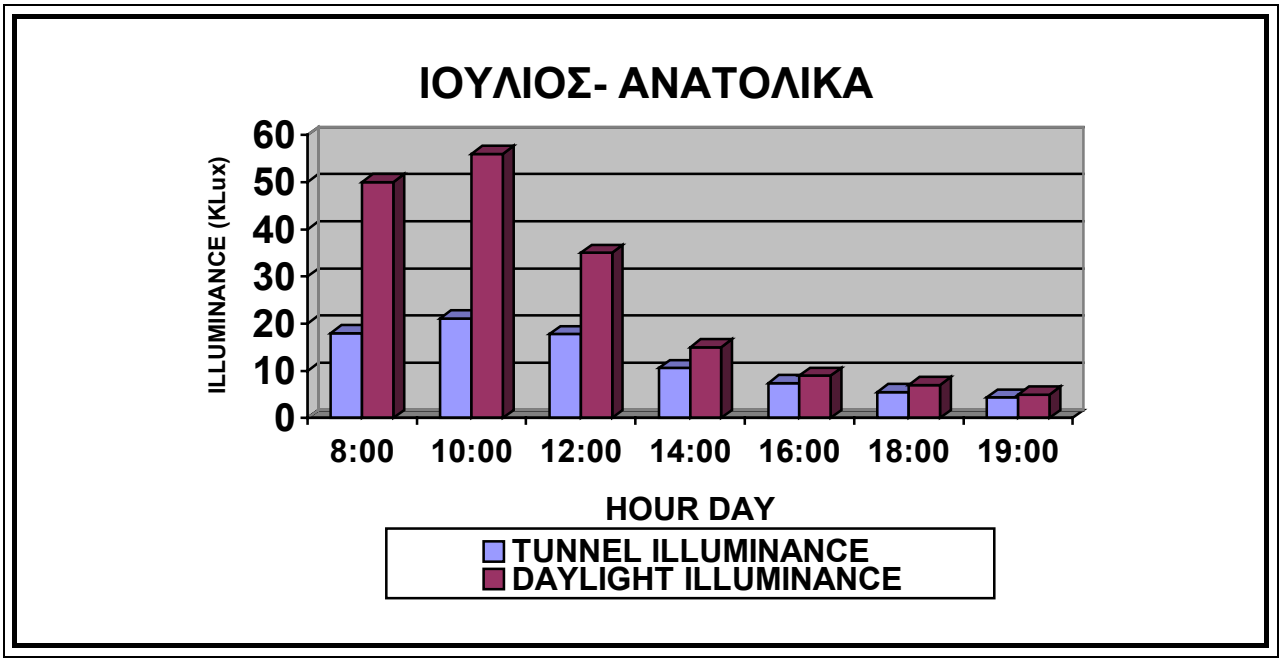


Σχήμα 6.(δ)

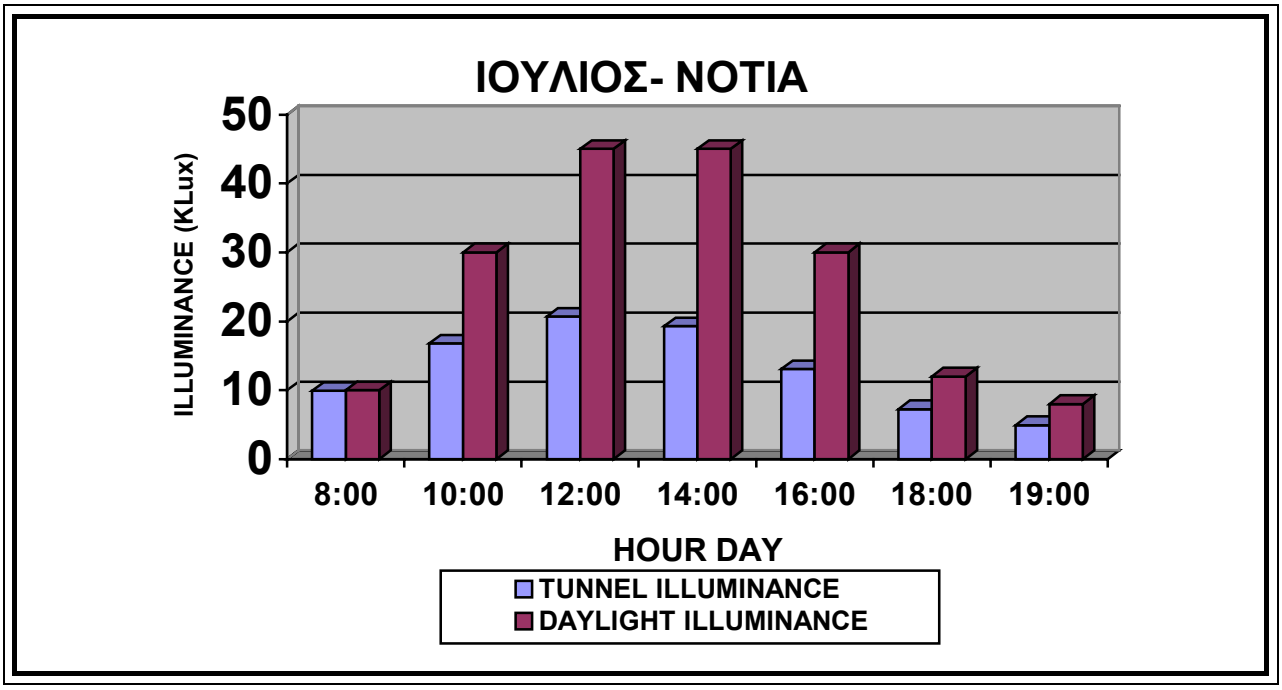
ΙΟΥΛΙΟΣ



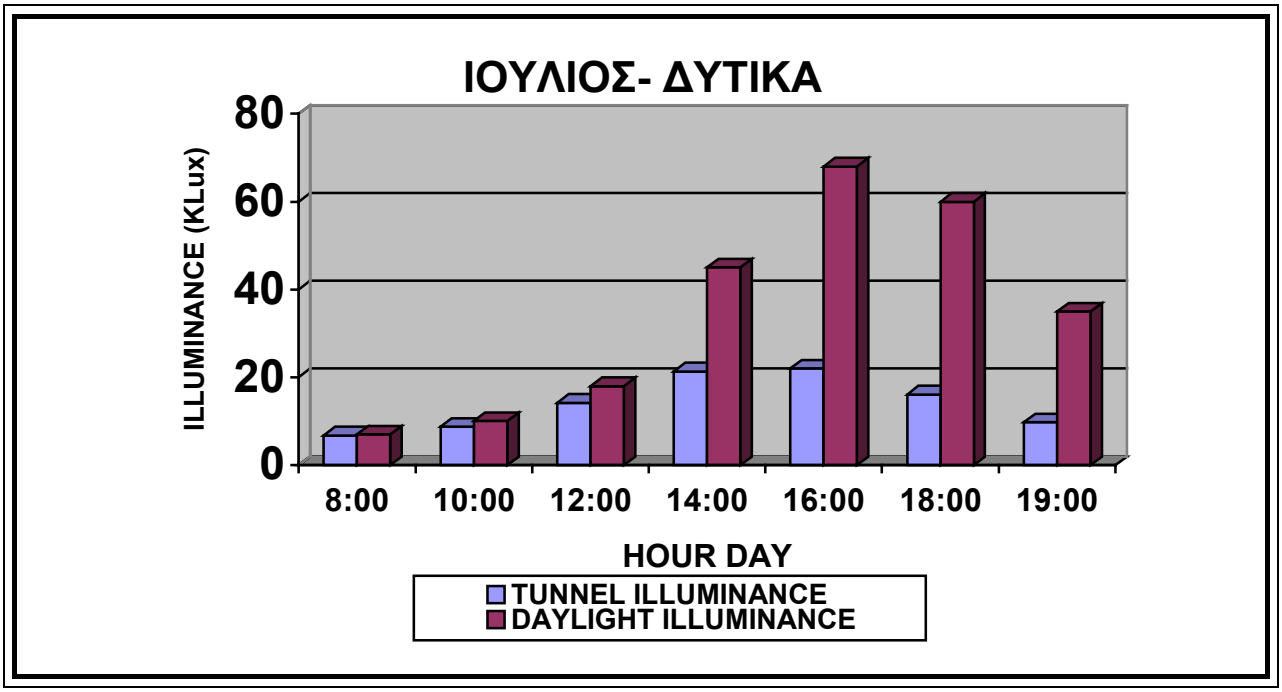
Σχήμα 7.(α)



Σχήμα 7.(β)



Σχήμα 7.(γ)



Σχήμα 7.(δ)

Όπως διαπιστώνουμε από τα διαγράμματα η ένταση του φωτισμού διαφέρει ανάλογα με τη κατεύθυνση για κάθε ώρα της ημέρας. Έτσι οι μηχανικοί λαμβάνουν υπόψη τους τον προσανατολισμό της σήραγγας κατά τη σχεδιαστική διαδικασία.

Από τα σχήματα που προηγήθηκαν προκύπτουν τα εξής:

Ειδικά κατά τη βόρεια κατεύθυνση μπορεί να εξοικονομηθεί μεγάλο ποσοστό ενέργειας, αφού ο εξωτερικός φυσικός φωτισμός φτάνει το πολύ τη τιμή των 8 Klux τους χειμερινούς και 16 Klux τους καλοκαιρινούς μήνες. Παρατηρώντας τα σχήματα 4(α),5(α),6(α),7(α) βλέπουμε ότι μπορεί να επιτευχθεί οικονομία μέχρι και 80%, ιδιαίτερα κατά τις πρώτες πρωινές και τελευταίες απογευματινές ώρες. Σημειώνουμε όμως ότι ο σχεδιασμός θα είναι διαφορετικός στη περίπτωση διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας από αυτή της μονής κατεύθυνσης. Αυτό συμβαίνει λόγω του παράγοντα Θάμβωσης που είναι ιδιαίτερα ενοχλητικός κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες. Λόγω της κλίσης του ήλιου το φως στην είσοδο της σήραγγας είναι ικανοποιητικό για τους οδηγούς που εισέρχονται στη σήραγγα, όχι όμως για αυτούς που εξέρχονται όπου η θάμβωση είναι έντονη και επικίνδυνη. Έτσι οφείλουμε με επιπλέον τεχνητό φωτισμό να βοηθήσουμε την οπτική προσαρμογή των οδηγών που εξέρχονται από τη σήραγγα.

Κατά την ανατολική και δυτική κατεύθυνση μπορεί να γίνει ειδικός σχεδιαστικός προγραμματισμός. Όπως παρατηρούμε αρχικά για την ανατολή από τα σχήματα 4(β),5(β),6(β),7(β) μετά τις 14:00 η Ένταση φυσικού φωτισμού μειώνεται αρκετά και τα επίπεδα αυτού που εισέρχονται στη σήραγγα είναι ικανοποιητικά για να καλύψουν από το 60% μέχρι και το 80% του απαιτούμενου φωτισμού στη σήραγγα.

Παρόμοια κατά τη δυτική κατεύθυνση όπως μας δείχνουν τα σχήματα 4(δ),5(δ),6(δ),7(δ) μπορεί να γίνει ειδικός προγραμματισμός για φωτισμό μέχρι τις 12:00 για τους καλοκαιρινούς μήνες και τις 10:00 για τους χειμερινούς μήνες.

Τέλος διαπιστώνουμε τη μείωση της έντασης φυσικού φωτισμού κατά τις μεσημβρινές ώρες με αποτέλεσμα ο οδηγός να έχει την αίσθηση ότι εισέρχεται σε μαύρη τρύπα. Διακρίνουμε λοιπόν την ανάγκη επαρκούς τεχνητού φωτισμού ειδικά κατά τις μεσημβρινές ώρες.

Όπως ήδη διατυπώσαμε στο κεφάλαιο 6 υπάρχουν πολλές μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας σε μια σήραγγα.

Μία μέθοδος στη περίπτωση μας θα ήταν η κατάλληλη χρήση του **συστήματος Αυξομείωσης Φωτισμού** (Dimming), που μειώνει το φωτισμό μιας εγκατάστασης με στόχο την μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό επιπέδων φωτισμού και την εξοικονόμηση ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη και το φυσικό φωτισμό που εισέρχεται στη σήραγγα.

Επίσης η χρήση ενός **συστήματος διευθυνσιοδοτούμενων φωτιστικών** σωμάτων μπορεί να επιτύχει σωστή εξοικονόμηση ενέργειας. Το συγκεκριμένο σύστημα διαθέτει μια κεντρική μονάδα ελέγχου που έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί και να δίνει εντολές σε κάθε ένα φωτιστικό ξεχωριστά. Έτσι μπορεί να τροφοδοτήσει μια σειρά φωτιστικών για συγκεκριμένες ώρες, ημέρες και εποχή ανάλογα με τις ανάγκες και απαιτήσεις που υπάρχουν.

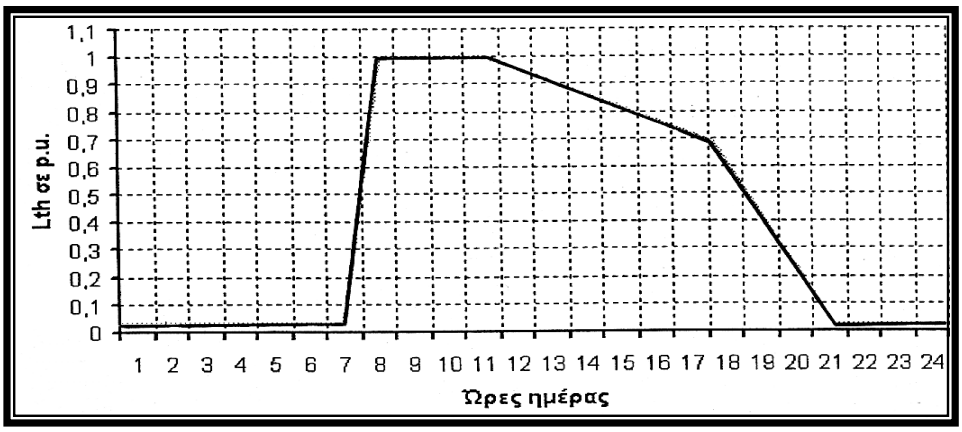
Το **Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου σήραγγας** έχει ως κύριο στόχο του τον δυναμικό έλεγχο της εγκατάστασης φωτισμού μιας σήραγγας και μπορεί να επιτύχει καλή ποσότητα εξοικονόμησης ενέργειας. Συγκεκριμένα για τον φωτισμό δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας επιπέδων φωτισμού, πλήρους ελέγχου της κατάστασης του συστήματος (on/off, σφάλματα λαμπτήρων, ώρες λειτουργίας κλπ.) και ανεξάρτητου ελέγχου διαφορετικών φωτιστικών ενός κυκλώματος προσαρμογή στις εκάστοτε καιρικές συνθήκες και σε παροδικά καιρικά φαινόμενα.

Τέλος το **σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού** (DLC) μπορεί να εξοικονομήσει πολύτιμη ηλεκτρική ενέργεια σε ένα τόσο ενεργοβόρο σύστημα όπως

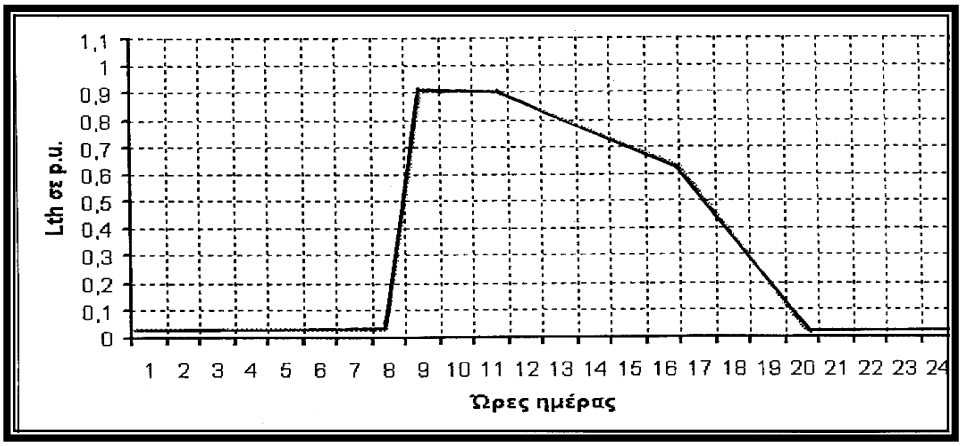
αυτό των σηράγγων, με το να ελέγχει και να μειώνει την ποσότητα του τεχνητού ηλεκτρικού φωτός όταν εισάγεται αρκετή ποσότητα φυσικού φωτός στη σήραγγα. Το σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού (Day Light Control) επιτρέπει στο χρήστη να ελέγξει το φωτισμό βασισμένο στο διαθέσιμο φυσικό φως του περιβάλλοντος. Ο προγραμματισμός αυτός βέβαια προαπαιτεί να υπάρχει ανάδραση στο σύστημα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός μετρητή λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης L_{20} αλλά και αισθητήρων λαμπρότητας ή ισχύος φωτισμού οι έξοδοι των οποίων θα οδηγούνται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου που θα κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις. Υπάρχουν εταιρείες που ειδικεύονται στο θέμα αυτό (αναφορά στο κεφάλαιο 9).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρεις καμπύλες, οι οποίες κατά προσέγγιση δείχνουν την **μεταβολή της απαιτούμενης λαμπρότητας L_{th} κατά την διάρκεια της ημέρας**. Η πρώτη αναφέρεται στην τυπική καλοκαιρινή ημέρα, η δεύτερη σε μία τυπική ημέρα της άνοιξης ή του φθινοπώρου και η τρίτη σε μία τυπική χειμερινή ημέρα (σε ανά μονάδα μέγεθος, όπου η τιμή 0.0059 p.u. αντιστοιχεί στη τιμή 2 cd/m^2).

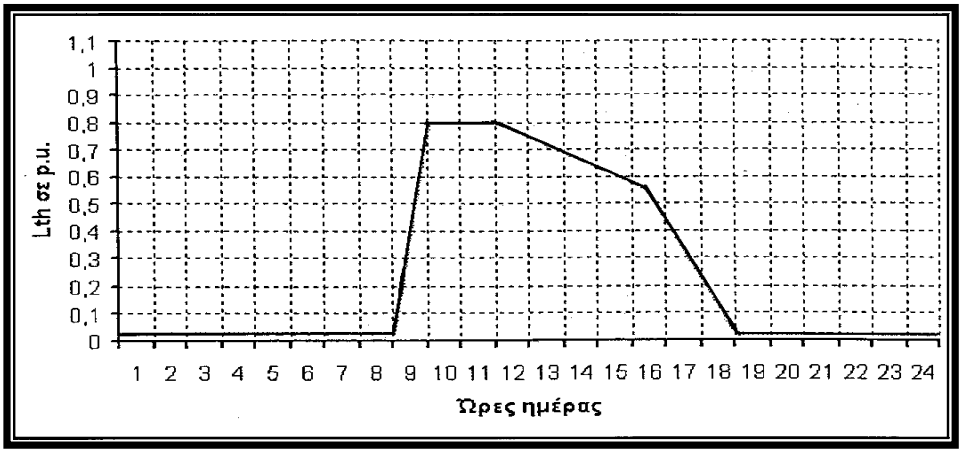
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ



ΑΝΟΙΞΗ-ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



ΧΕΙΜΩΝΑΣ



Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει συνοπτικά τα αποτελέσματα.

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ		ΑΝΟΙΞΗ-ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	
t (h)	L (cd/m^2)	t (h)	L (cd/m^2)	t (h)	L (cd/m^2)
0	**2**	0	**2**	0	**2**
6:30	**2**	7:30	**2**	8:00	**2**
7:30	**338**	8:30	**305**	9:00	**271**
10:30	**338**	10:30	**305**	11:00	**271**
17:00	**237**	16:00	**213**	15:30	**190**
20:30	**2**	19:30	**2**	18:00	**2**
24:00	**2**	24:00	**2**	24:00	**2**

Οι βασικές διαφορές των τριών καμπύλων είναι στη μέγιστη τιμή που παρουσιάζεται κατά την διάρκεια της ημέρας όπου ισχύει η αναλογία **338-305-271 cd/m^2** και στη διάρκεια της νύχτας όπου ισχύει η αναλογία **10-12-14 ώρες**, για το **καλοκαίρι**, την **άνοιξη - φθινόπωρο** και το **χειμώνα** αντίστοιχα.

Οι τιμές αυτές λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του φωτισμού και με χρήση των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας που αναφέραμε προηγουμένως μπορούμε να κάνουμε τις κατάλληλες προσαρμογές για το καλοκαίρι το χειμώνα και την άνοιξη-φθινόπωρο λαμβάνοντας υπόψη τις μέγιστες τιμές λαμπρότητας και τη διάρκεια του νυχτερινού φωτισμού.

Είναι εμφανές ότι τα ευέλικτα και έξυπνα συστήματα ελέγχου φωτισμού σηράγγων είναι ικανά να εξοικονομήσουν υψηλά ποσοστά ενέργειας και να προσαρμοστούν στις εκάστοτε συνθήκες και ανάγκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΕΙΔΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλές εταιρείες έχουν αναπτύξει λογισμικό, ειδικά για το φωτισμό σηράγγων. Σκοπός του φωτισμού σήραγγας είναι να εξασφαλίσει ότι τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και τη νύχτα, τα οχήματα θα πλησιάσουν, θα διασχίσουν και θα βγουν από τη σήραγγα, με τη σχεδιασμένη ταχύτητα, άνεση και ασφάλεια που θα είχαν σε έναν ανοιχτό δρόμο. Αυτό επιτυγχάνεται, αρχικά με σαφείς πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση του δρόμου και την παρουσία τυχόν εμποδίων συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων και της κίνησης αυτών, και δεύτερον οι οδηγοί να αισθάνονται, όσον αφορά το οπτικό πεδίο, την ίδια άνεση όπως και σε έναν ανοιχτό δρόμο.

Τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται σε μια εγκατάσταση φωτισμού είναι:

- Τα επίπεδα λαμπρότητας του δρόμου και του κάτω τμημάτων των τοιχωμάτων της σήραγγας.
- Η ομοιομορφία της κατανομής της λαμπρότητας στο δρόμο.
- Ο έλεγχος της θάμβωσης.
- Η αποφυγή της φωτεινής πάλμωσης.

Ουσιαστικά ο στόχος των λογισμικών που αναπτύσσουν οι εταιρείες είναι να υπολογιστεί η απαραίτητη Λαμπρότητα στις διάφορες ζώνες της σήραγγας, ώστε η είσοδος , η έξοδος, η κυκλοφορία και η μετάβαση σε αυτές να γίνει με ασφάλεια και οπτική άνεση.

Όλα τα προγράμματα που θα αναφερθούν και θα αναλυθούν προϋποθέτουν την εξοικείωση των χρηστών στους υπολογισμούς και τη σχεδιαστική διαδικασία που ακολουθείται για το φωτισμό των σηράγγων. **Συνεπώς προϋποθέτουν άριστη γνώση και εξοικείωση των οδηγιών της CIE 88-1990.**

Αρχικά θα ασχοληθούμε με το λογισμικό της OPT (Optical & Photometric Technology) για σήραγγες, το **DPTunnel** , εκτελώντας ουσιαστικά μια φωτοτεχνική μελέτη σήραγγας με χρήση υπολογιστή (προσεγγιστικά). Στη συνέχεια γίνεται μια μικρή αναφορά στο λογισμικό **TULIP (TUnnel LIghting Program)** της RAYFORGE Services, ώστε να έχουμε μια εικόνα των δυνατοτήτων του προγράμματος.

8. 2 Φωτοτεχνική Μελέτη Σήραγγας με χρήση του προγράμματος DPTunnel

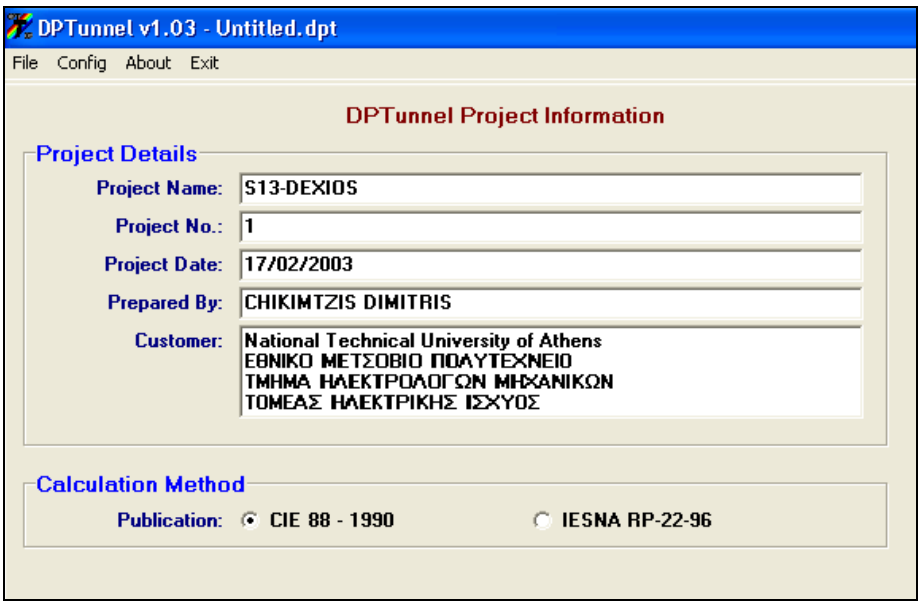
Το πρόγραμμα DPTunnel υπολογίζει την απαραίτητη Λαμπρότητα σε κάθε ζώνη της σήραγγας λαμβάνοντας υπόψη του παράγοντες:

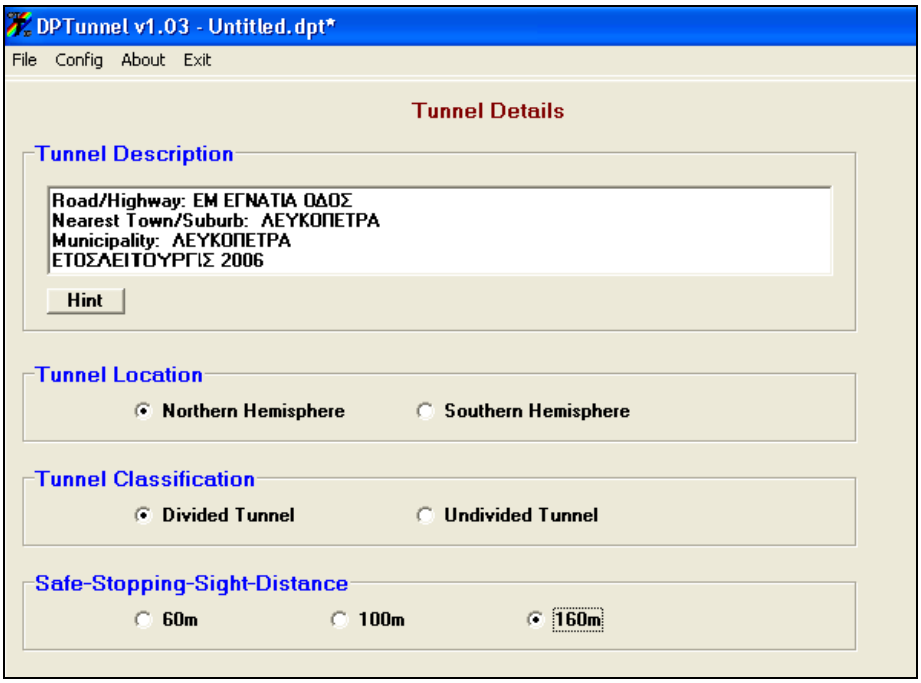
- Τη Λαμπρότητα L_{20} που περιβάλλει την είσοδο της σήραγγας, στο κωνικό πεδίο των 20^0.

- Ταχύτητα των οχημάτων.
- Τον οδικό γεωγραφικό προσανατολισμό.

Για την εκτίμηση της ασφάλειας λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες:

- Το επίπεδο κυκλοφοριακής ροής στο δρόμο.
- Την ύπαρξη ή όχι πεζών και ποδηλάτων.





Αρχικά δίνουμε τα στοιχεία της σήραγγας (project information) που επιθυμούμε φωτοτεχνική μελέτη. Όπως βλέπουμε από τα ανωτέρω σχήματα θα μελετήσουμε τη σήραγγα S13-Dexios (παρωνύμιο) που βρίσκεται στην Εγνατία Οδό στη Λευκόπετρα-Πολύμυλος. Βρίσκεται στο Βόρειο Ημισφαίριο είναι μια διαιρεμένη

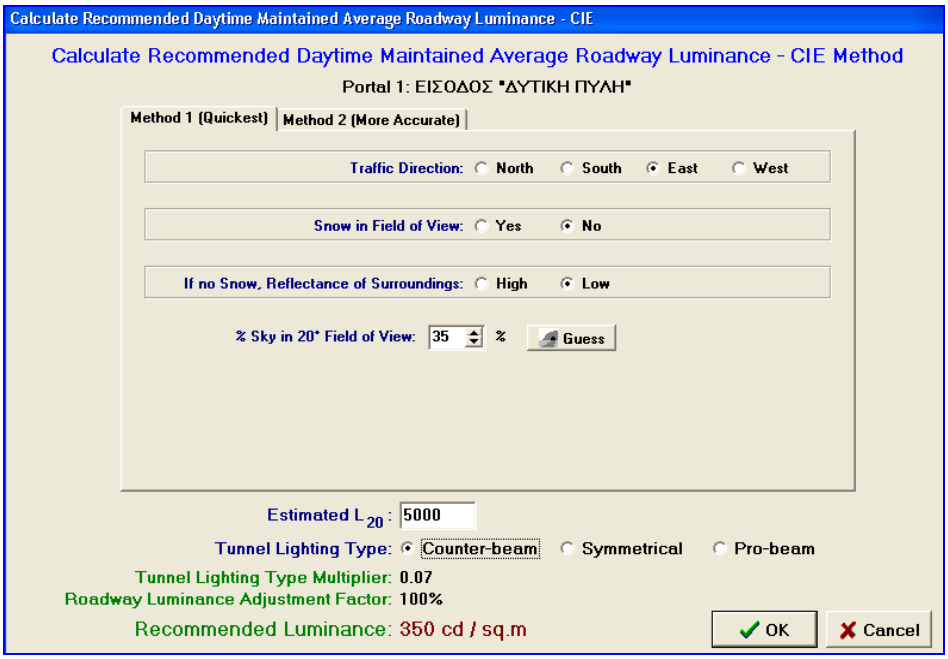
σήραγγα (υποδεικνύει κατευθύνσεις ροής) και έχει προσδιοριστεί ως απόσταση ασφαλούς πέδησης SSSD=160m. Η σήραγγα αυτή θα δοθεί σε κυκλοφορία το 2006.

Τα βασικά στοιχεία της σήραγγας είναι:

Μήκος Σήραγγας (m)	**778**
Πλάτος Σήραγγας (m)	**8.5**
Ύψος Σήραγγας (m)	**7**
Μήκος Δρόμου (m)	**7.5**
Απόσταση Δρ το δεξιό και αριστερό τοίχο (m)	**0.5**
Αριθμός Λωρίδων Κυκλοφορίας	**2**
Τύπος Οδοστρώματος	**R3**
Qo	**0.07**
Συντελεστής Ανάκλασης τοίχων	**0.35**
Συντελεστής Ανάκλασης Οροφής	**0.10**
Συντελεστής Ανάκλασης Οδοστρώματος	**0.10**
SSD (m)	**160**

Στην συνέχεια δίνουμε πληροφορίες για κάθε πύλη της σήραγγας (Portal Details). Η μία από αυτές είναι η είσοδος και η άλλη η έξοδος της σήραγγας.

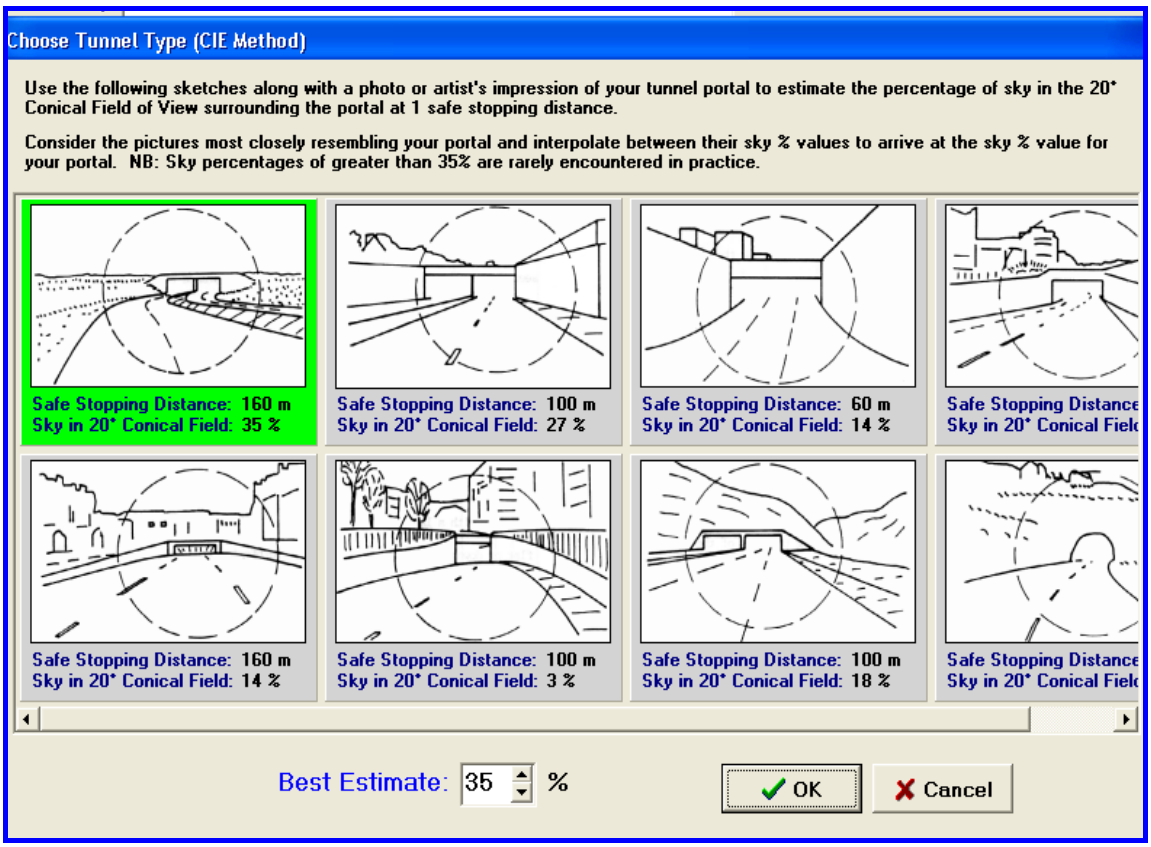
PORTAL 1



Εφαρμόστηκε η γρήγορη μέθοδος υπολογισμού του L_{20} από σκαρίφημα όπως φαίνεται παρακάτω, και αφού δώσουμε στοιχεία που αφορούν τη κατεύθυνση κυκλοφορίας, την ύπαρξη ή όχι χιονιού και την ανάκλαση του περιβάλλοντος,

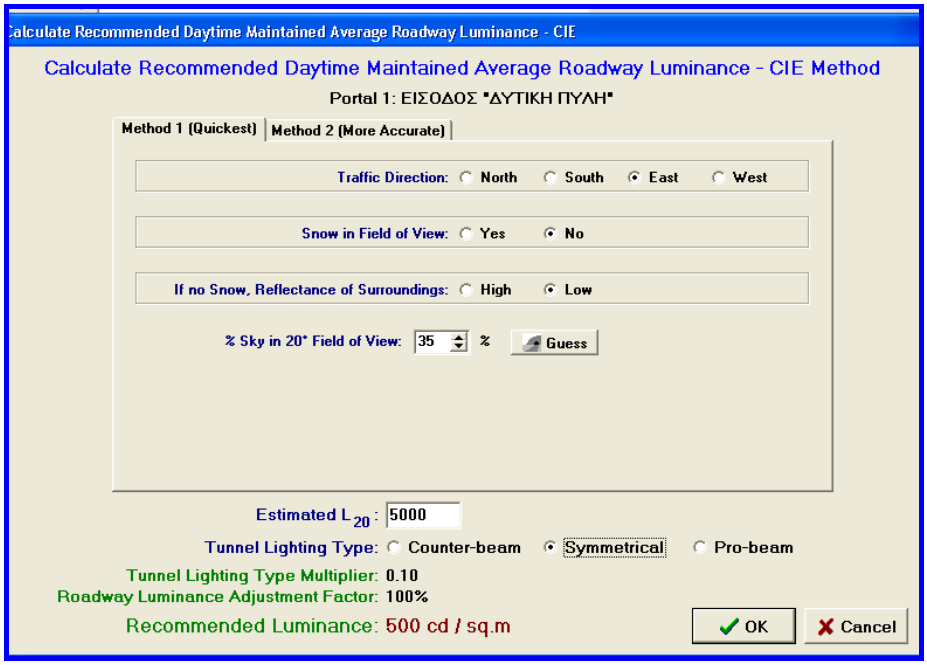
για **ασύμμετρο** σύστημα φωτισμού υπολογίστηκε:

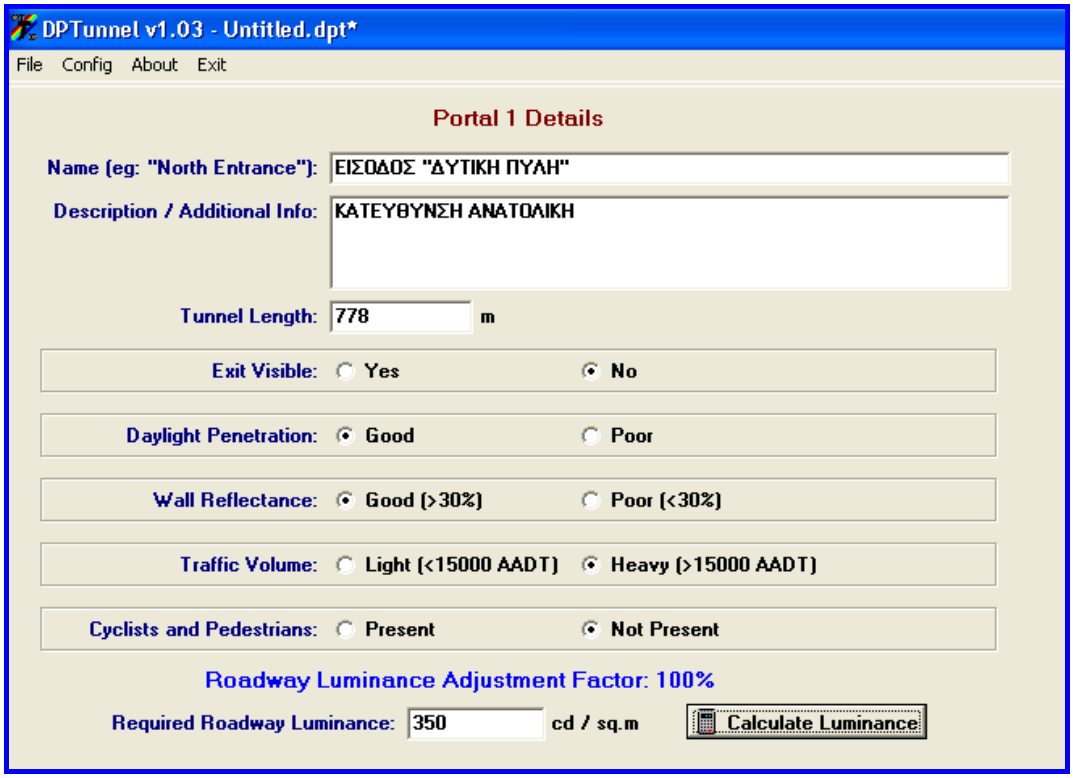
Συνιστούμενη Λαμπρότητα=350 cd/m^2.



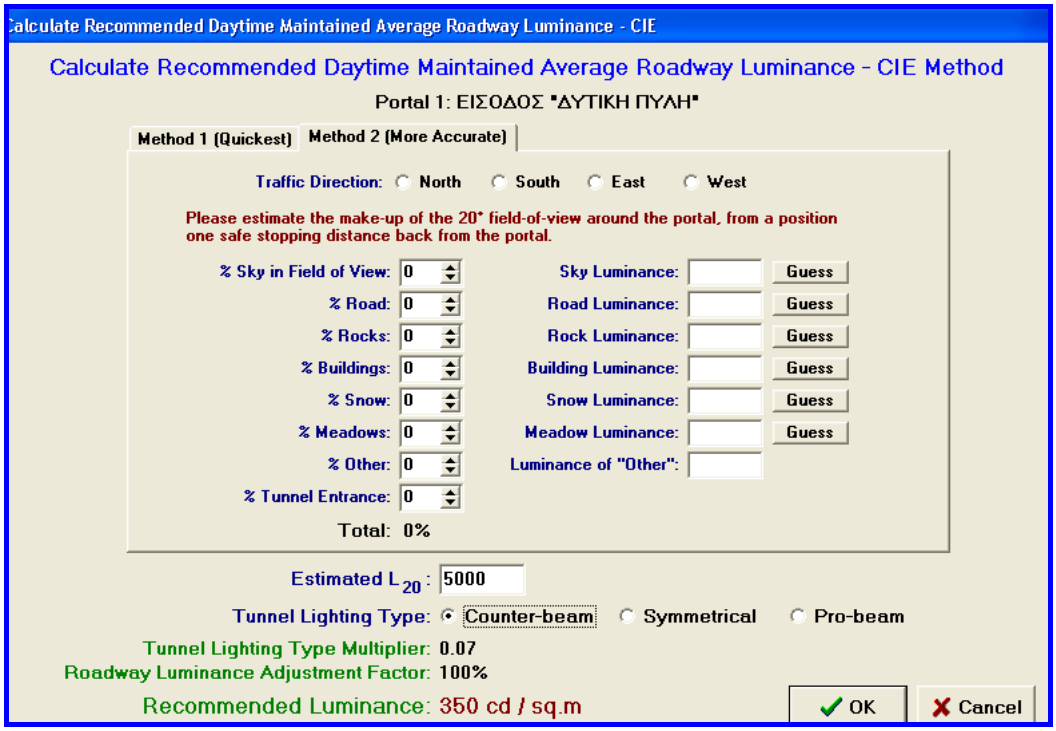
Για **συμμετρικό** σύστημα φωτισμού υπολογίστηκε:

Συνιστούμενη Λαμπρότητα=500 cd/m^2.





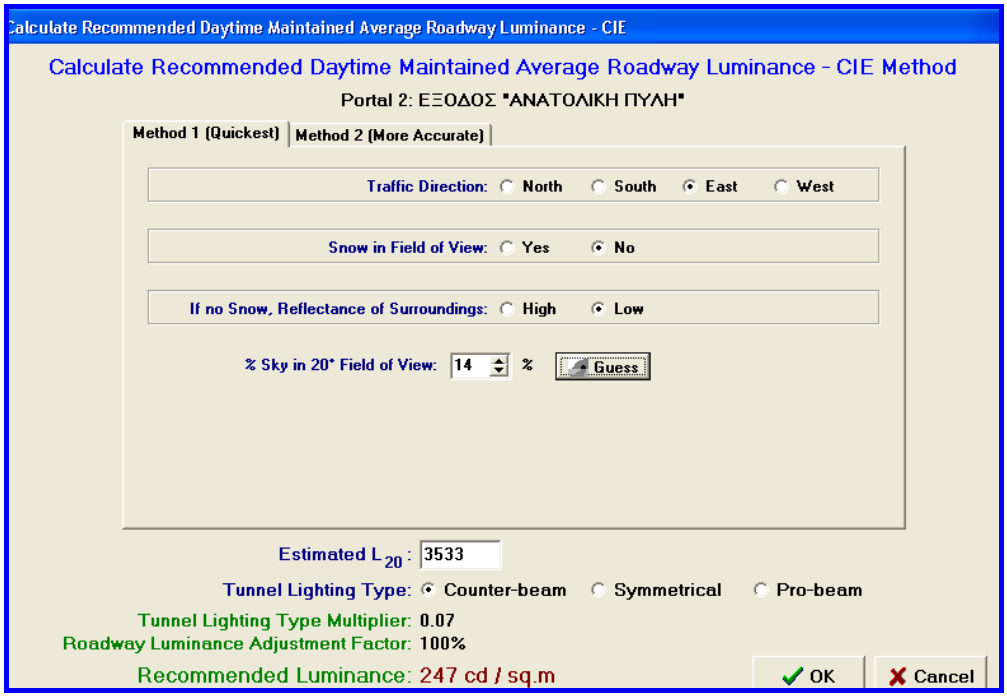
Μια άλλη πιο ακριβής μέθοδος υπολογισμού φαίνεται παρακάτω και προϋποθέτει εκ των προτέρων γνώση του ποσοστού που κατέχει κάθε αντικείμενο στο κωνικό πεδίο των 20^0.

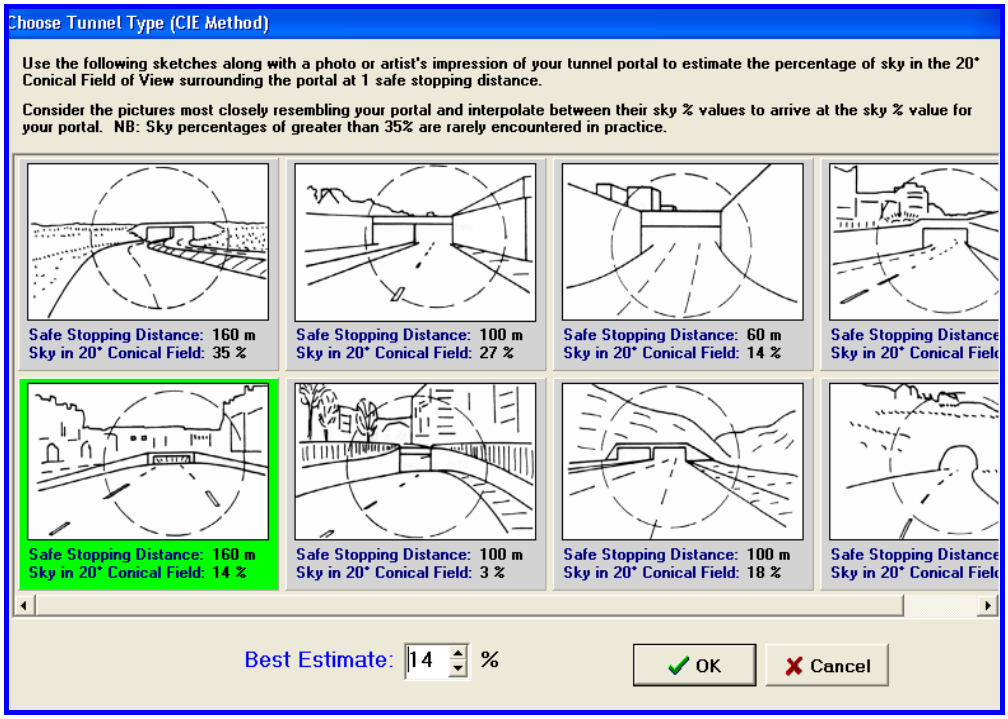


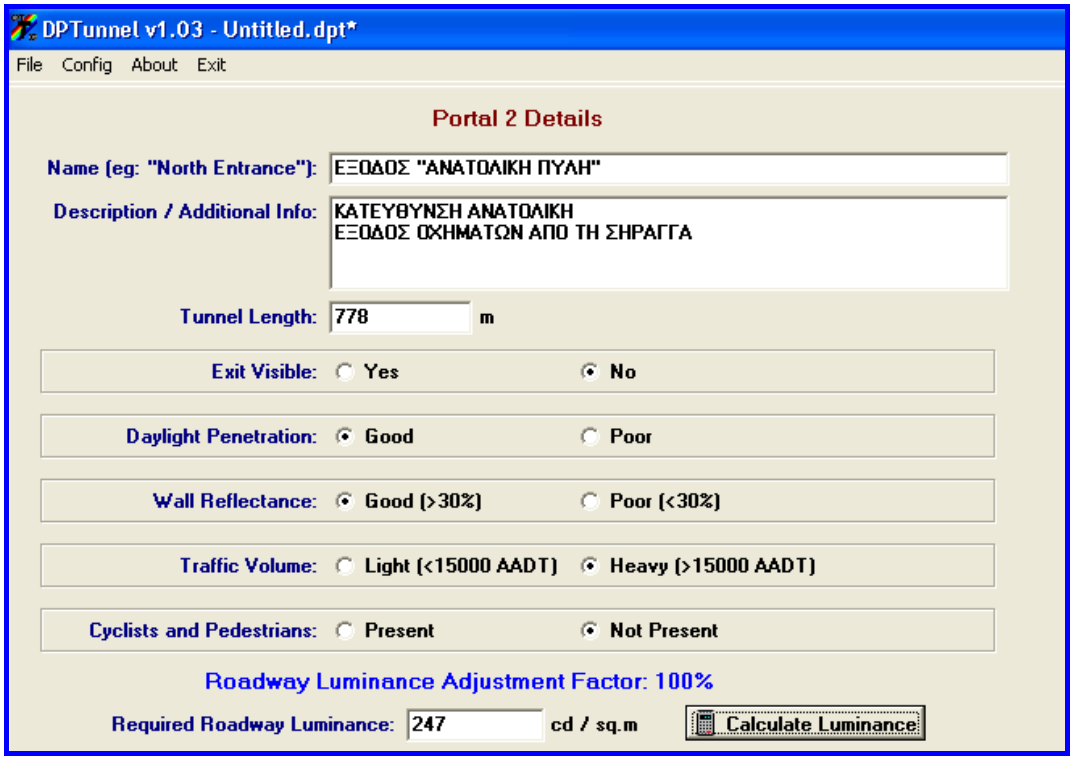
PORTAL 2

Για τη δεύτερη πύλη της σήραγγας, πάλι με τη γρήγορη μέθοδο υπολογισμού βρέθηκε:

Συνιστούμενη Λαμπρότητα=247 cd/m^2.

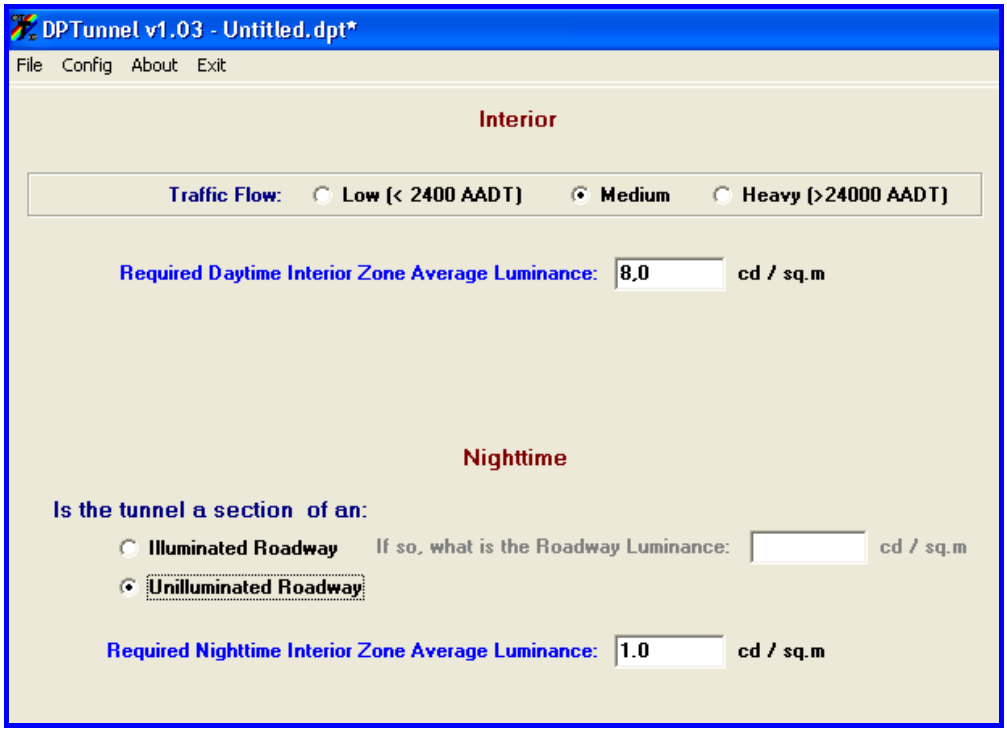




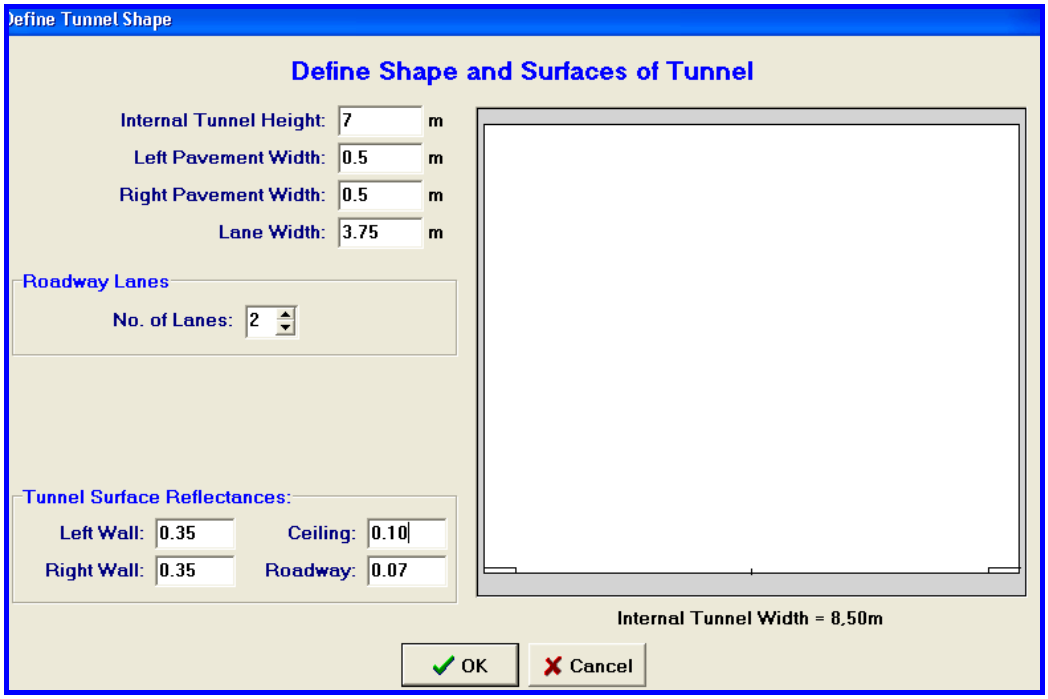


Οι παραπάνω πύλες που αναλύσαμε θα υπολογίσουν και θα σχεδιάσουν το φωτισμό της ζώνης κατωφλίου και τη μεταβατική ζώνη της σήραγγας.

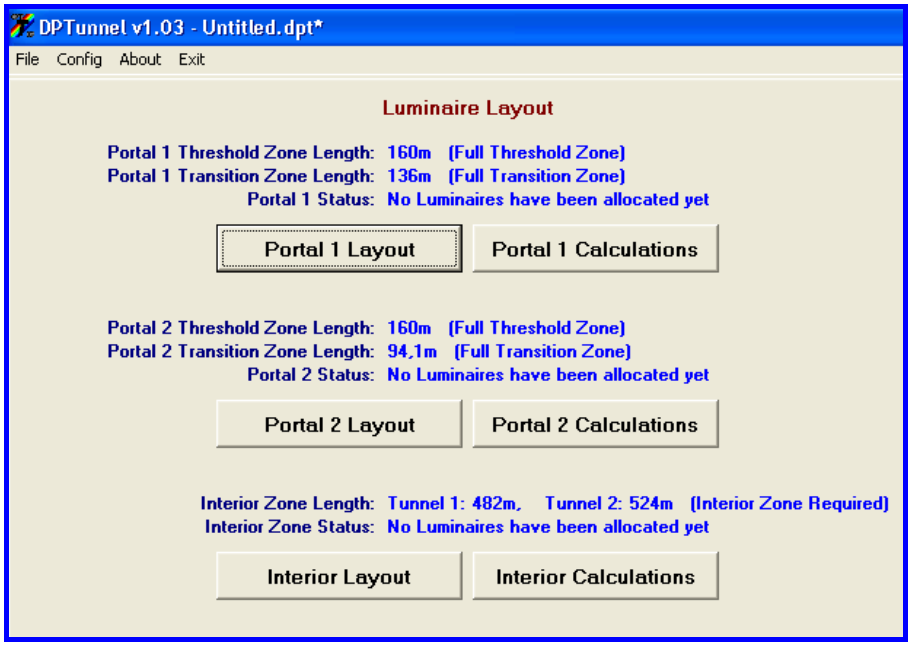
Ξεχωριστός σχεδιασμός γίνεται για την εσωτερική ζώνη της σήραγγας. Στη περίπτωση μας ο δρόμος πριν τη σήραγγα δεν είναι φωτιζόμενος και επιλέξαμε μέτριο επίπεδο κυκλοφοριακής ροής για τον υπολογισμό του νυχτερινού φωτισμού στην εσωτερική ζώνη.



Δίνονται οι διαστάσεις της σήραγγας και οι ανακλάσεις των τοίχων, της οροφής και του δρόμου καθώς και ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας.

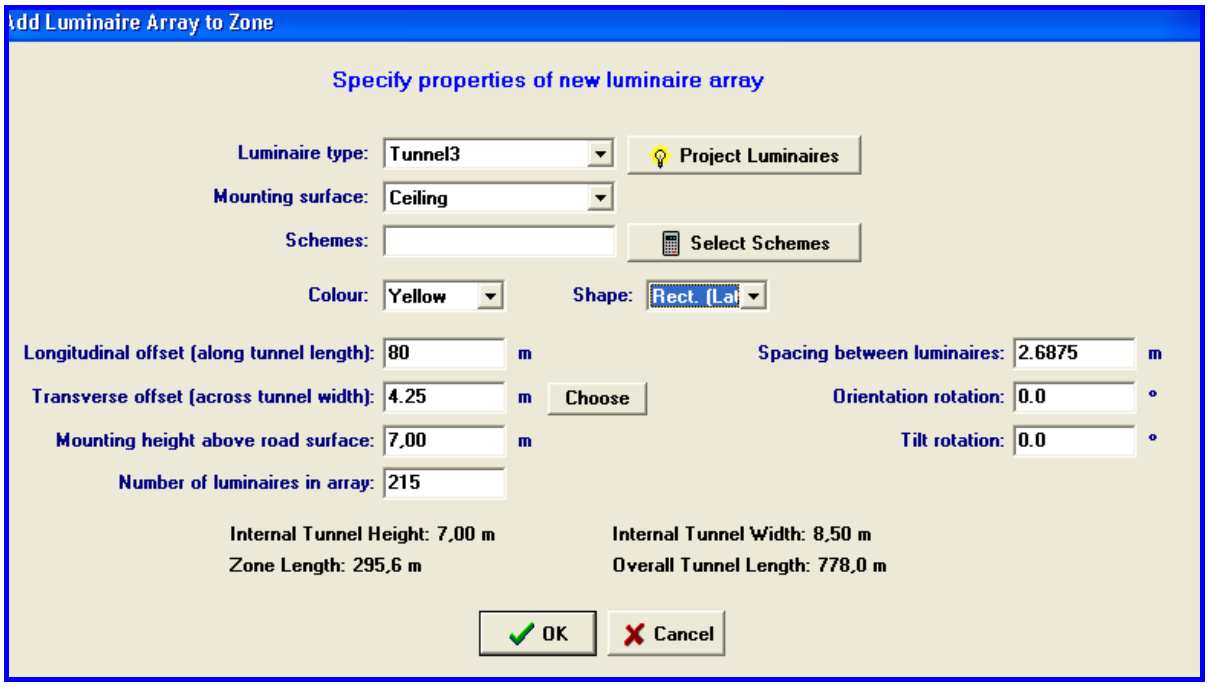


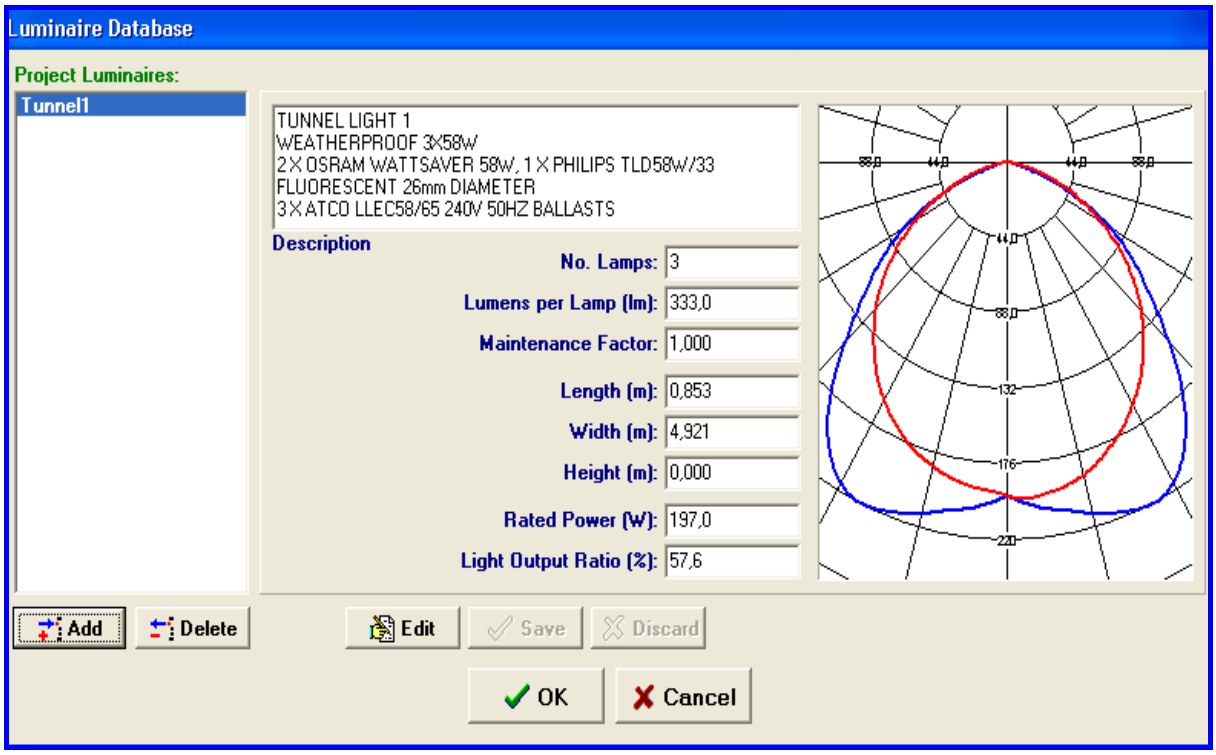
Στη συνέχεια επιλέγονται, σχεδιάζονται και υπολογίζονται οι διατάξεις των φωτιστικών σωμάτων στη σήραγγα και τελικά γίνεται ανάλυση και σύγκριση της επιθυμητής καμπύλης Λαμπρότητας με αυτή που μας δίνουν τα φωτιστικά που επιλέξαμε. Έτσι υπάρχει η ευελιξία των διορθώσεων μέχρι να επιτύχουμε το επιθυμητό.

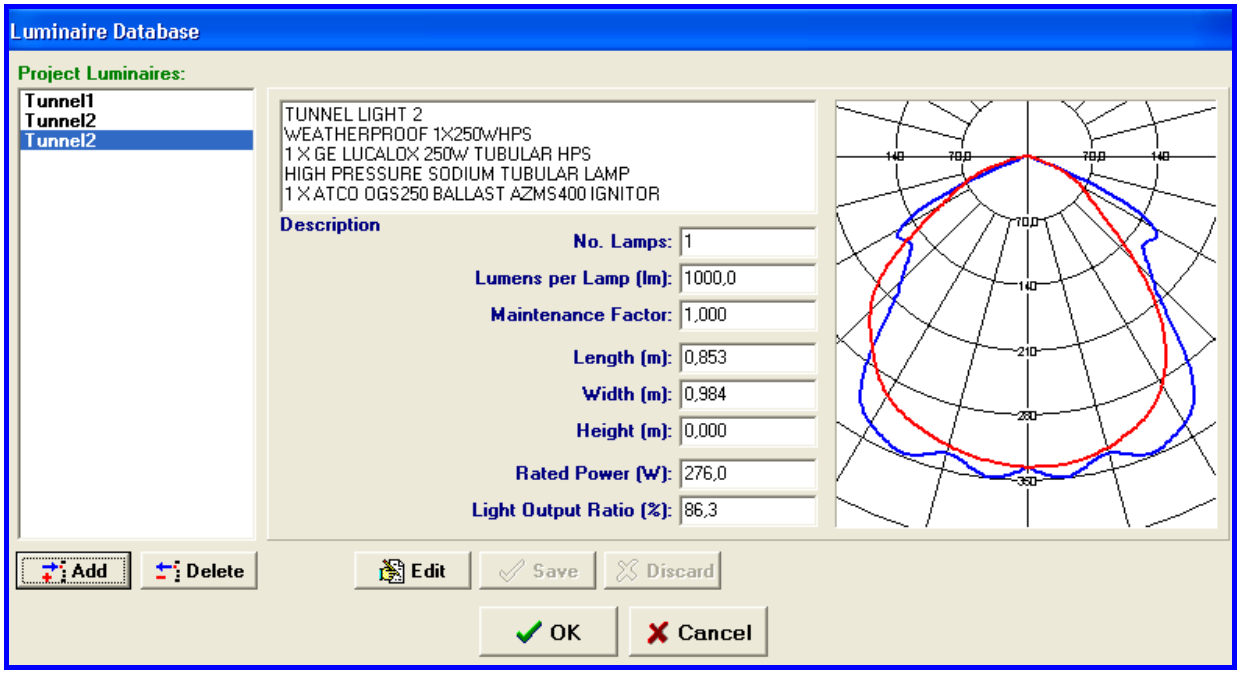


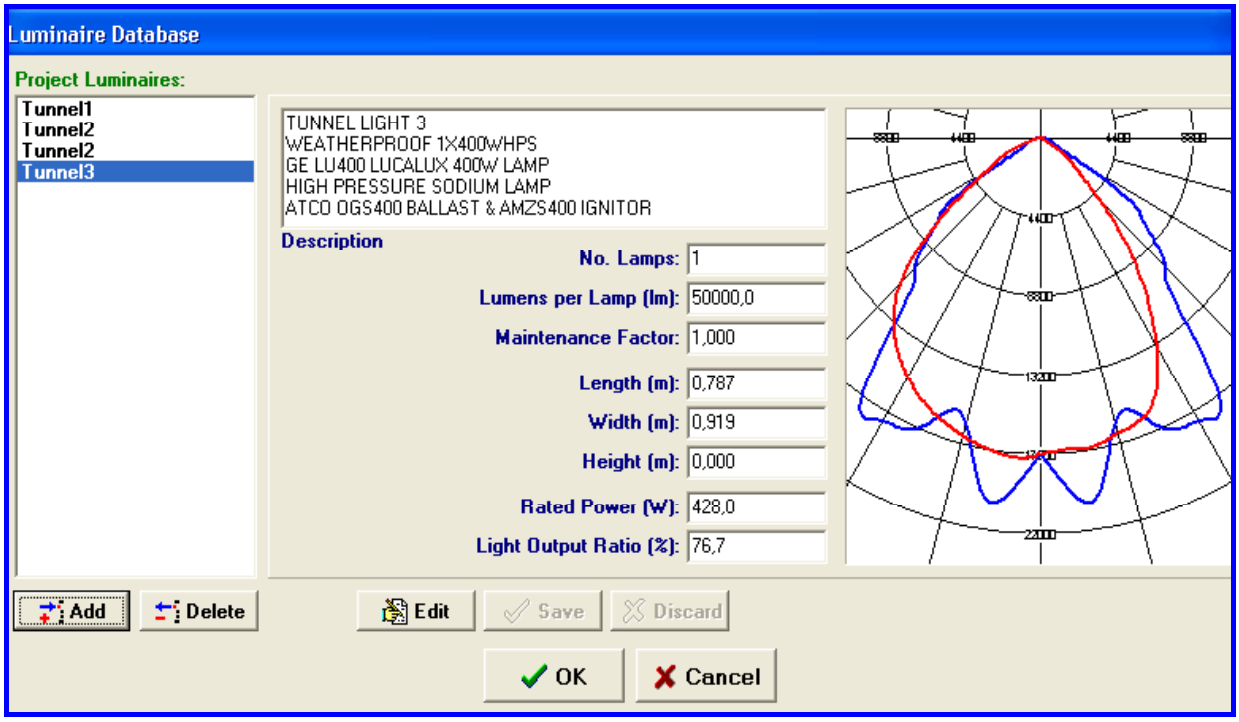
PORTAL 1 LAYOUT

Επιλέγουμε φωτιστικά από βάση Δεδομένων που έχει το πρόγραμμα. Διαθέτει για την ακρίβεια 3 φωτιστικά σώματα για σήραγγες οι προδιαγραφές των οποίων δίνονται παρακάτω.





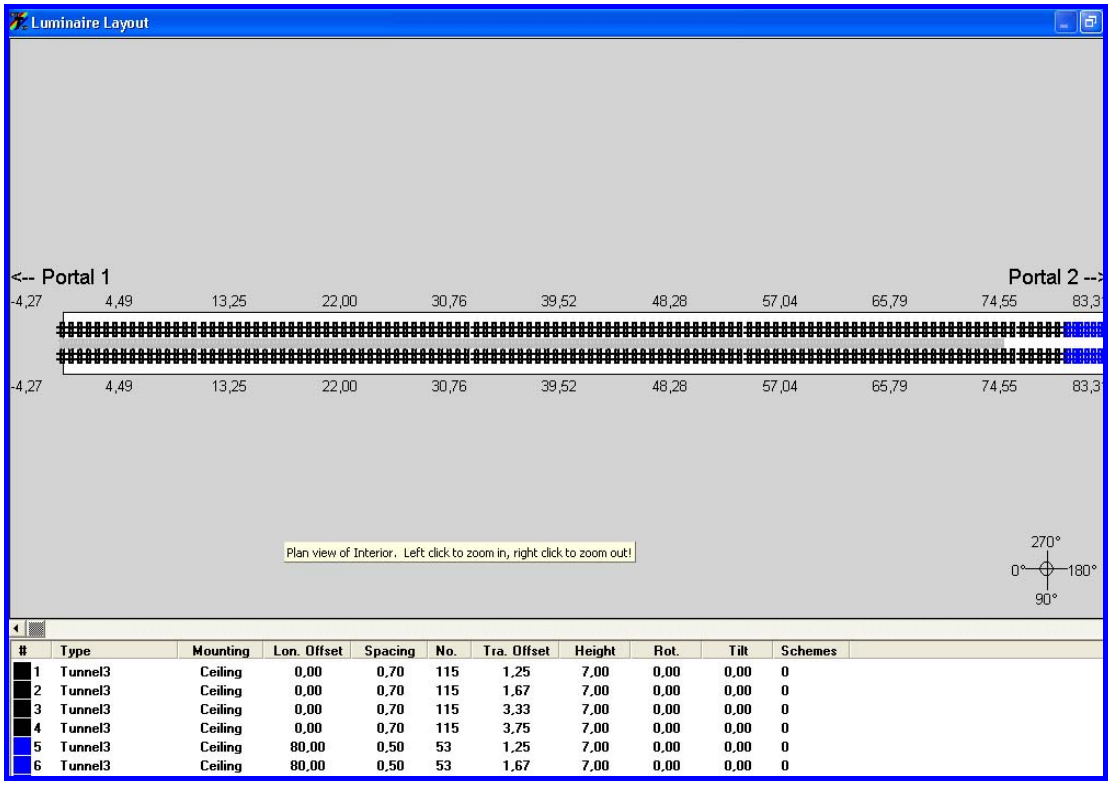




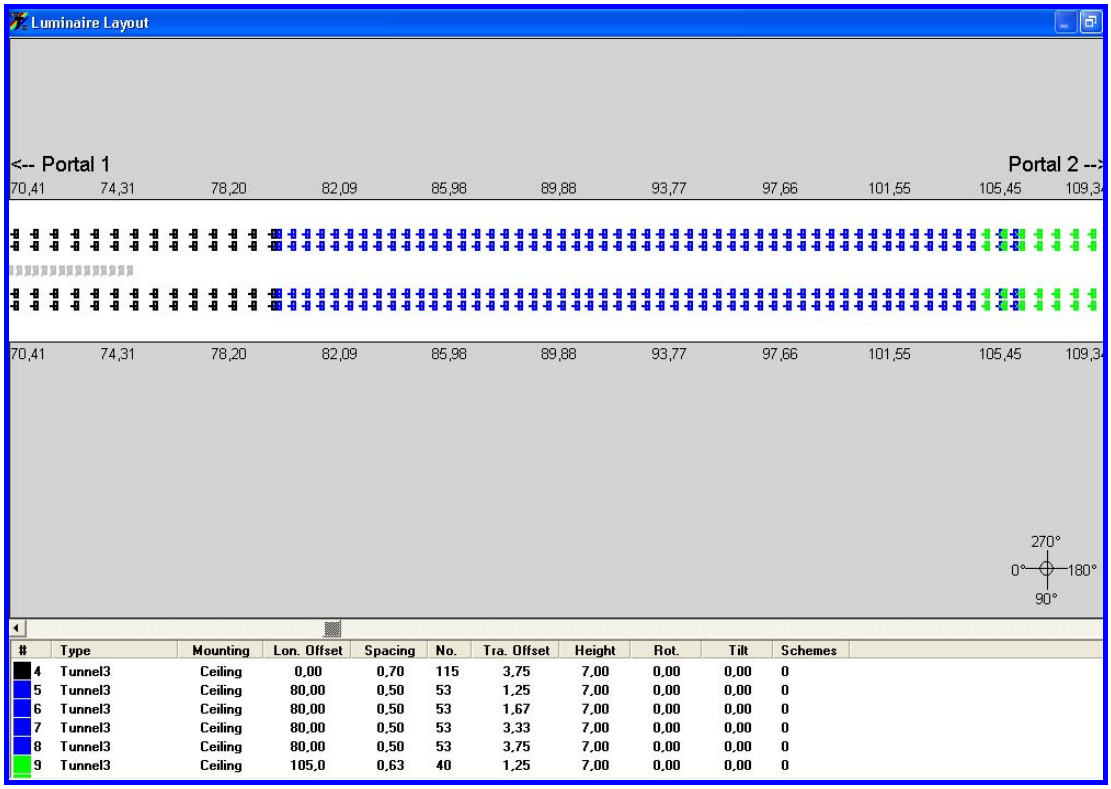
ΖΩΝΗ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ

L_{th}=350 cd/m^2 , SSD=160m

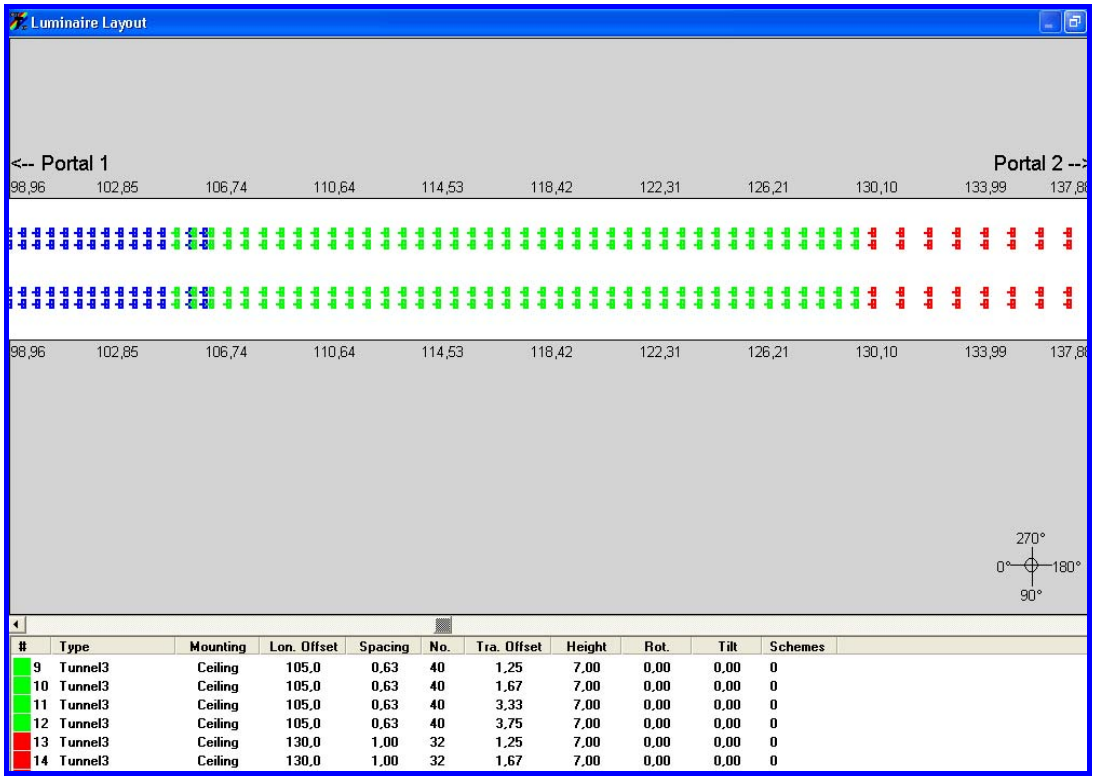
Η τιμή της λαμπρότητας L_{th}=350 cd/m^2 διατηρείται σταθερή για απόσταση **0,5• SSD** από την είσοδο της σήραγγας. Στο υπόλοιπο μήκος από **0,5• SSD – SSD,** η λαμπρότητα μειώνεται γραμμικά μέχρι τη τιμή **0,4• L_{th}.** Στη πράξη γίνεται με βήματα **3:1.** Επιλέγουμε το φωτιστικό Tunnel3 που έχει 50000 lm. Υπολογίζουμε το **$\Phi_{απαιτ}$,** το **Φ_{Λ},** και βρίσκουμε τον απαιτούμενο αριθμό φωτιστικών **Λ** που χρειαζόμαστε για κάθε επίπεδο της ζώνης κατωφλίου ώστε να επιτευχθεί η ορθή διαβάθμιση της λαμπρότητας.



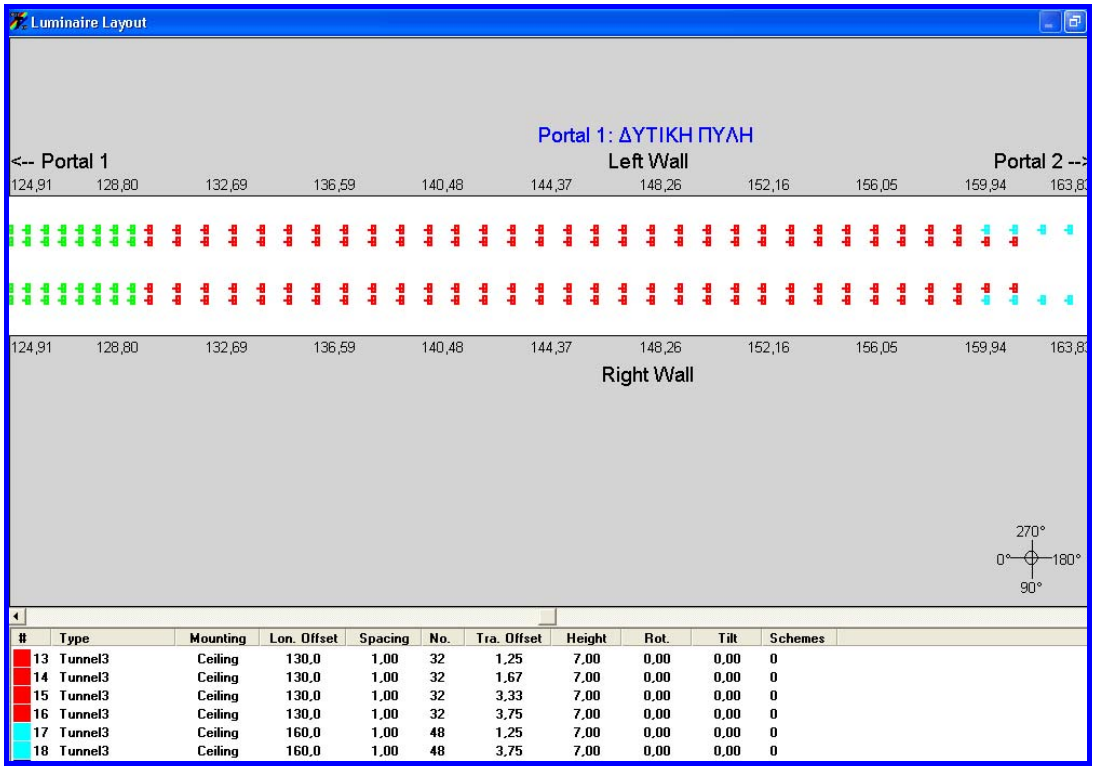
#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
1	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,70	115	1,25	7,00	0,00	0,00	0
2	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,70	115	1,67	7,00	0,00	0,00	0
3	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,70	115	3,33	7,00	0,00	0,00	0
4	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,70	115	3,75	7,00	0,00	0,00	0
5	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,50	53	1,25	7,00	0,00	0,00	0
6	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,50	53	1,67	7,00	0,00	0,00	0



#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
4	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,70	115	3,75	7,00	0,00	0,00	0
5	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,50	53	1,25	7,00	0,00	0,00	0
6	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,50	53	1,67	7,00	0,00	0,00	0
7	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,50	53	3,33	7,00	0,00	0,00	0
8	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,50	53	3,75	7,00	0,00	0,00	0
9	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,63	40	1,25	7,00	0,00	0,00	0



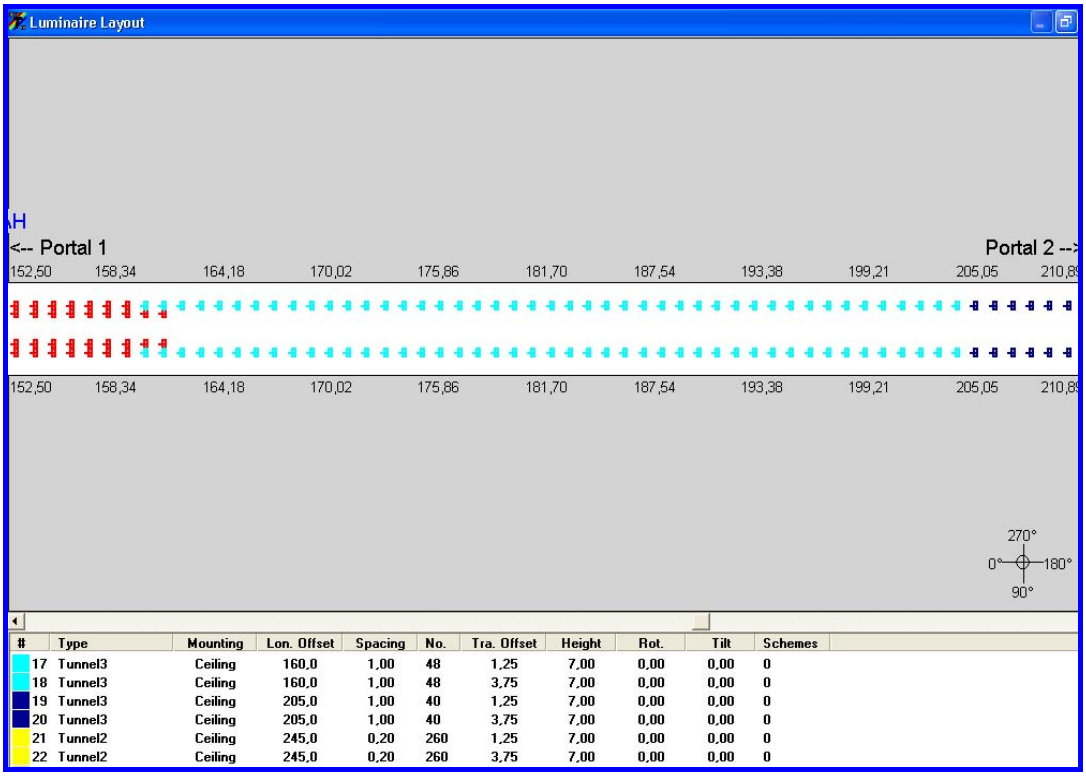
#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
9	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,63	40	1,25	7,00	0,00	0,00	0
10	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,63	40	1,67	7,00	0,00	0,00	0
11	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,63	40	3,33	7,00	0,00	0,00	0
12	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,63	40	3,75	7,00	0,00	0,00	0
13	Tunnel3	Ceiling	130,0	1,00	32	1,25	7,00	0,00	0,00	0
14	Tunnel3	Ceiling	130,0	1,00	32	1,67	7,00	0,00	0,00	0



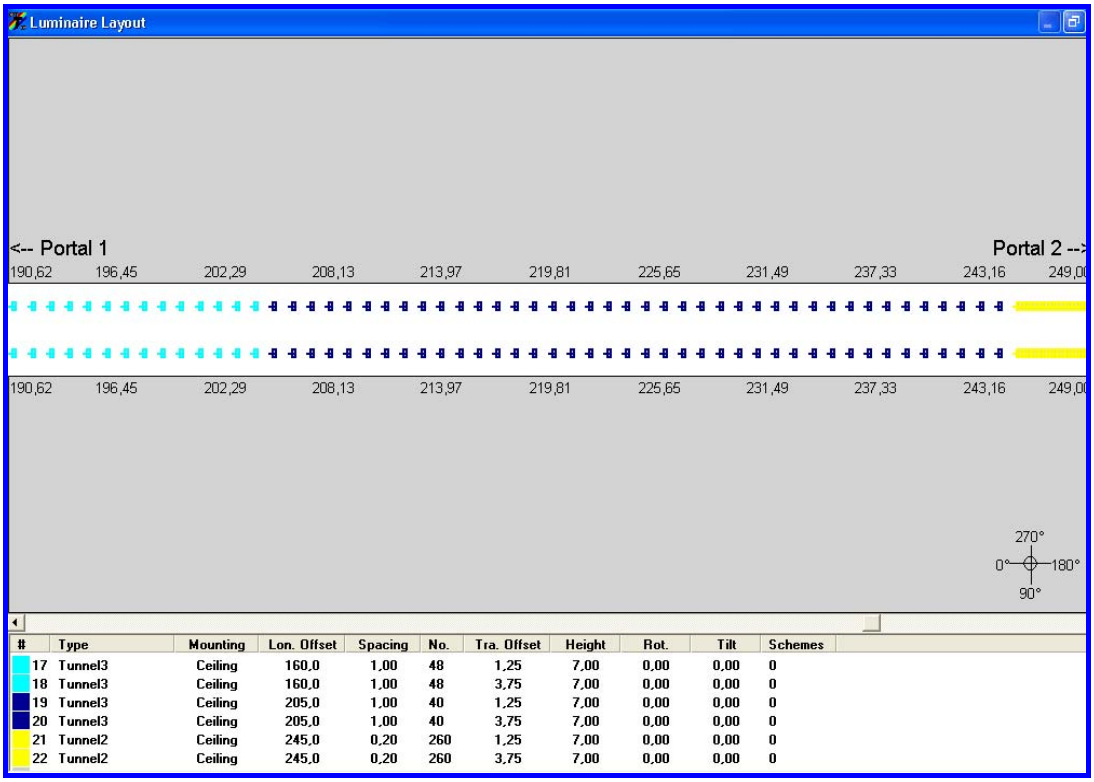
#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
13	Tunnel3	Ceiling	130,0	1,00	32	1,25	7,00	0,00	0,00	0
14	Tunnel3	Ceiling	130,0	1,00	32	1,67	7,00	0,00	0,00	0
15	Tunnel3	Ceiling	130,0	1,00	32	3,33	7,00	0,00	0,00	0
16	Tunnel3	Ceiling	130,0	1,00	32	3,75	7,00	0,00	0,00	0
17	Tunnel3	Ceiling	160,0	1,00	48	1,25	7,00	0,00	0,00	0
18	Tunnel3	Ceiling	160,0	1,00	48	3,75	7,00	0,00	0,00	0

ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ

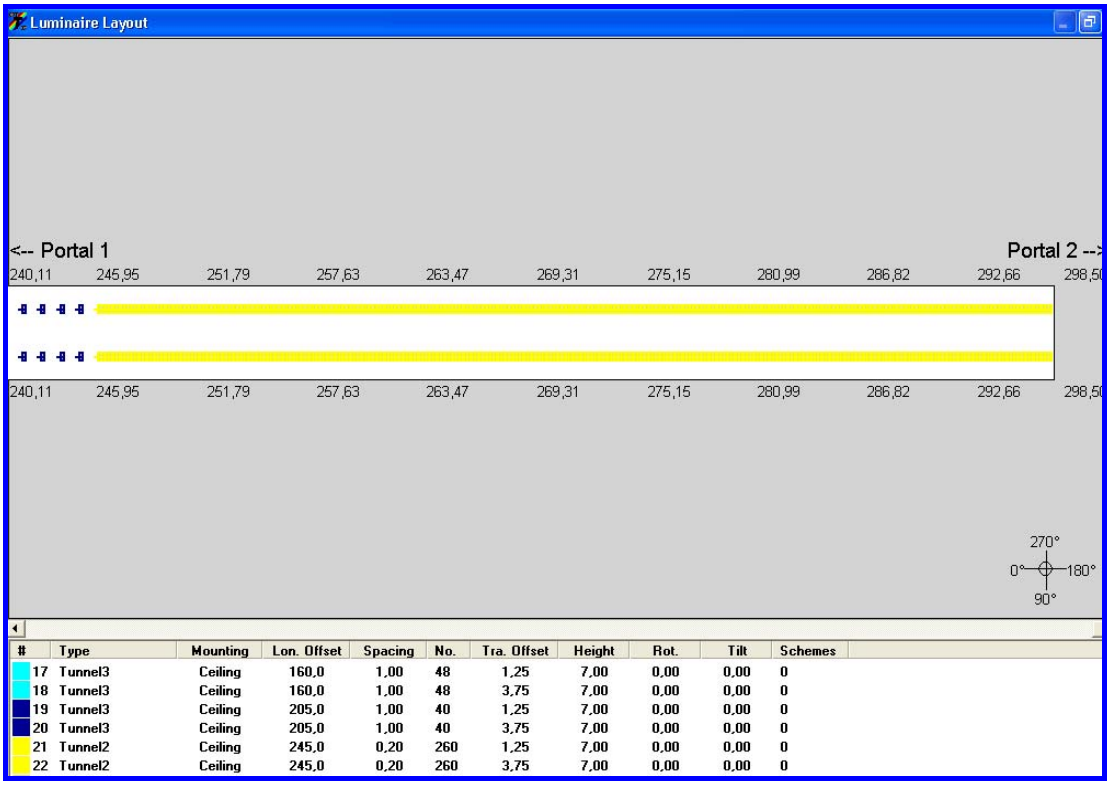
Η αρχή της μεταβατικής ζώνης είναι το σημείο όπου έχουμε τιμή λαμπρότητας **0,4• L_{th},** και το τέλος στο σημείο όπου έχουμε **3•L_{in}.** Τα επίπεδα λαμπρότητας ελαττώνονται με βήμα 3:1.

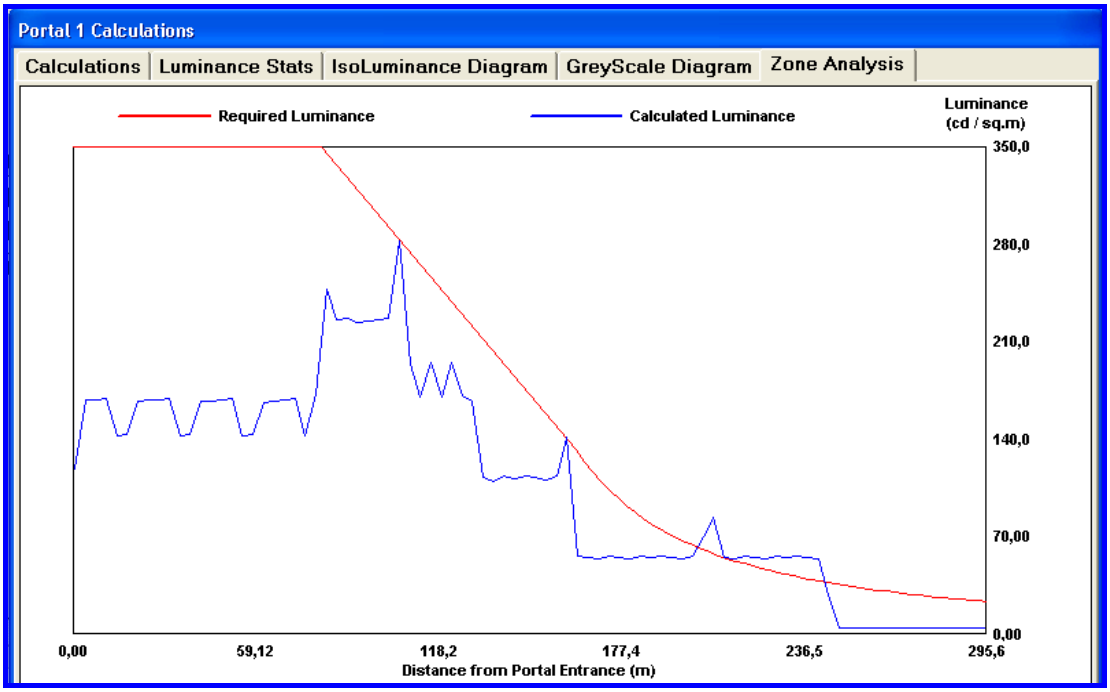


#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
17	Tunnel3	Ceiling	160,0	1,00	48	1,25	7,00	0,00	0,00	0
18	Tunnel3	Ceiling	160,0	1,00	48	3,75	7,00	0,00	0,00	0
19	Tunnel3	Ceiling	205,0	1,00	40	1,25	7,00	0,00	0,00	0
20	Tunnel3	Ceiling	205,0	1,00	40	3,75	7,00	0,00	0,00	0
21	Tunnel2	Ceiling	245,0	0,20	260	1,25	7,00	0,00	0,00	0
22	Tunnel2	Ceiling	245,0	0,20	260	3,75	7,00	0,00	0,00	0

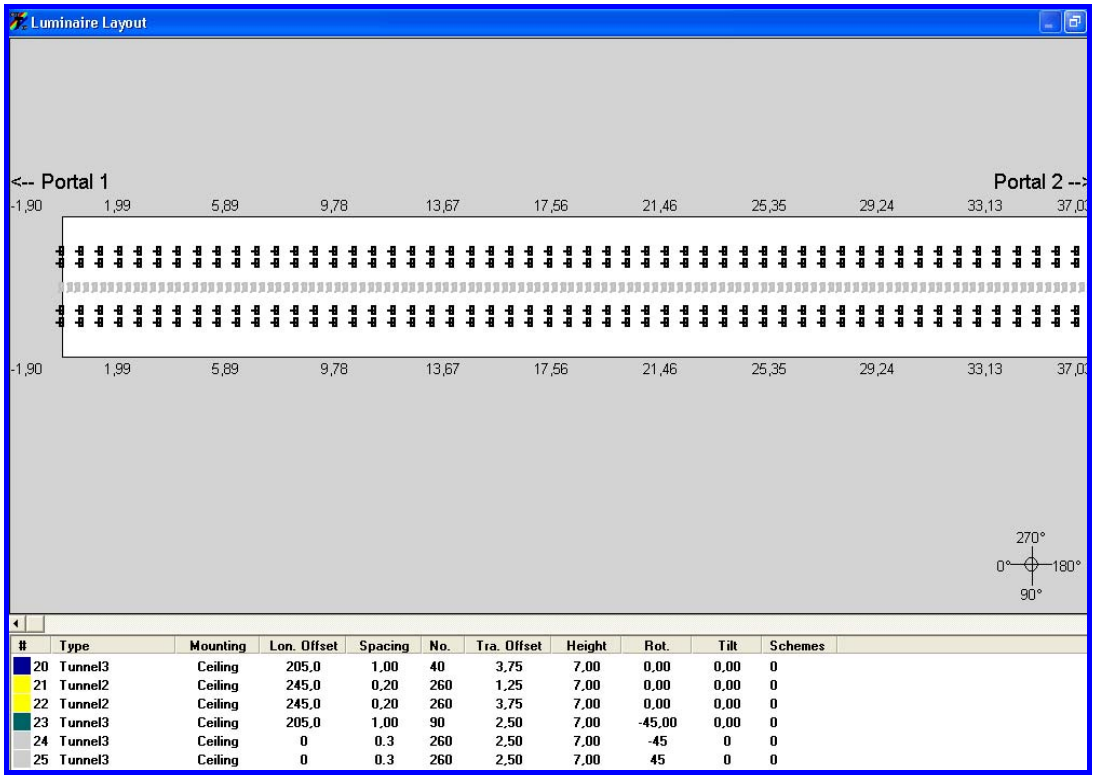


#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
17	Tunnel3	Ceiling	160,0	1,00	48	1,25	7,00	0,00	0,00	0
18	Tunnel3	Ceiling	160,0	1,00	48	3,75	7,00	0,00	0,00	0
19	Tunnel3	Ceiling	205,0	1,00	40	1,25	7,00	0,00	0,00	0
20	Tunnel3	Ceiling	205,0	1,00	40	3,75	7,00	0,00	0,00	0
21	Tunnel2	Ceiling	245,0	0,20	260	1,25	7,00	0,00	0,00	0
22	Tunnel2	Ceiling	245,0	0,20	260	3,75	7,00	0,00	0,00	0

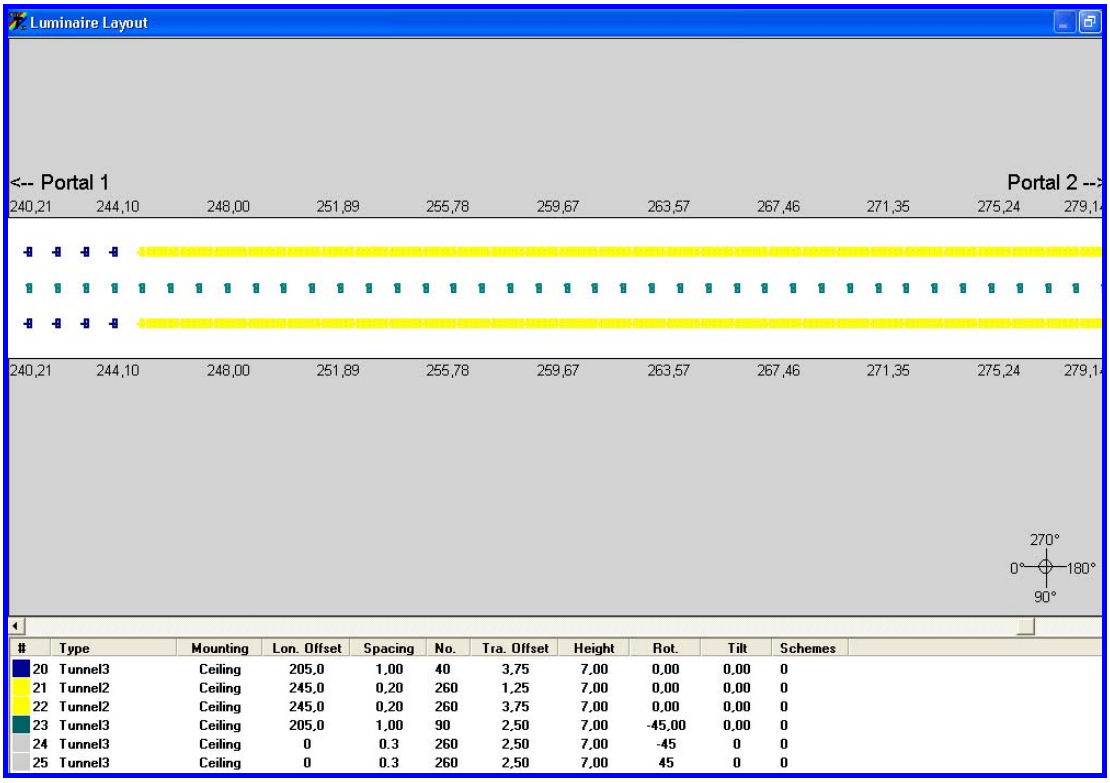




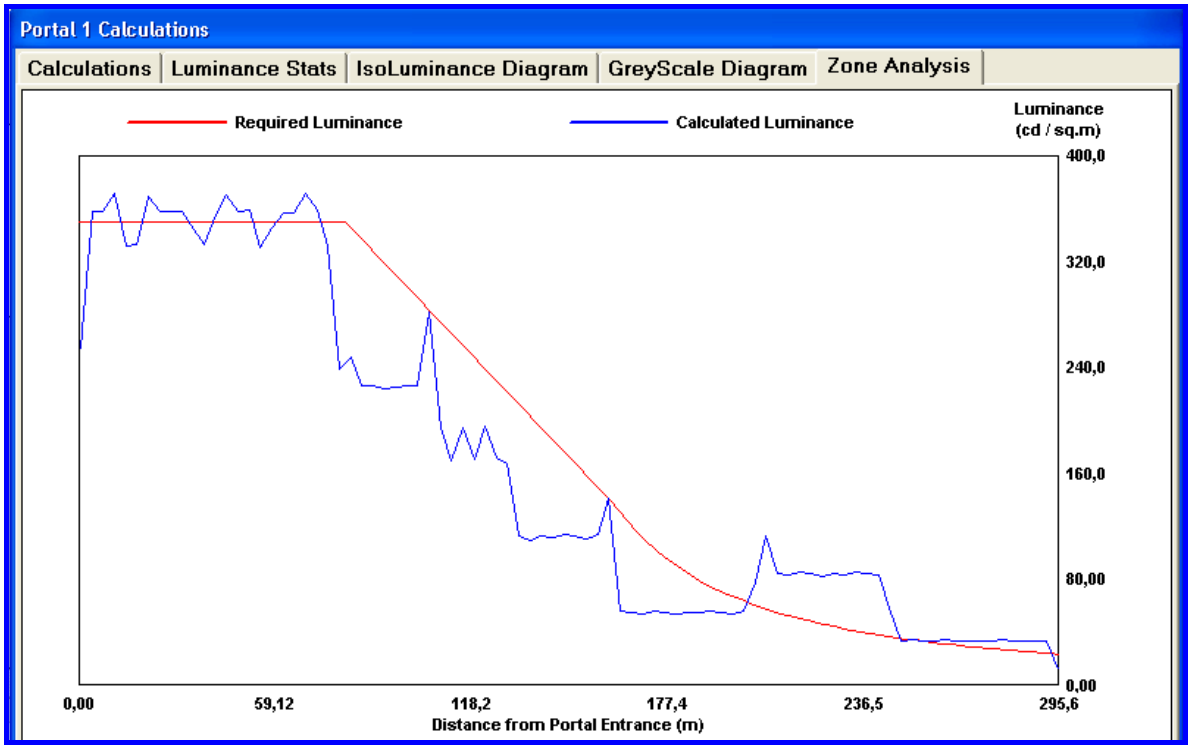
Παρατηρούμε ότι δεν έχουμε πετύχει την επιθυμητή Λαμπρότητα (κόκκινη γραμμή), έτσι μπορούμε να προσθέσουμε φωτιστικά σώματα ειδικά στη ζώνη κατωφλίου όπου οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.



#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
20	Tunnel3	Ceiling	205,0	1,00	40	3,75	7,00	0,00	0,00	0
21	Tunnel2	Ceiling	245,0	0,20	260	1,25	7,00	0,00	0,00	0
22	Tunnel2	Ceiling	245,0	0,20	260	3,75	7,00	0,00	0,00	0
23	Tunnel3	Ceiling	205,0	1,00	90	2,50	7,00	-45,00	0,00	0
24	Tunnel3	Ceiling	0	0.3	260	2,50	7,00	-45	0	0
25	Tunnel3	Ceiling	0	0.3	260	2,50	7,00	45	0	0



#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
20	Tunnel3	Ceiling	205,0	1,00	40	3,75	7,00	0,00	0,00	0
21	Tunnel2	Ceiling	245,0	0,20	260	1,25	7,00	0,00	0,00	0
22	Tunnel2	Ceiling	245,0	0,20	260	3,75	7,00	0,00	0,00	0
23	Tunnel3	Ceiling	205,0	1,00	90	2,50	7,00	-45,00	0,00	0
24	Tunnel3	Ceiling	0	0.3	260	2,50	7,00	-45	0	0
25	Tunnel3	Ceiling	0	0.3	260	2,50	7,00	45	0	0



Portal 1 Calculations

Calculations | Luminance Stats | IsoLuminance Diagram | GreyScale Diagram | Zone Analysis

Roadway

Average Luminance: 497 cd / sq.m

Minimum: 397 cd / sq.m

Maximum: 572 cd / sq.m

Uniformity: 0,800 (1:1,25)

Laneway Uniformity:

#	Average	Uniformity
1	522,9 cd / sq.m	0,924 (1:1,08)
2	514,7 cd / sq.m	0,926 (1:1,08)

Left Wall

Average Luminance: 1010 cd / sq.m

Minimum: 727 cd / sq.m

Maximum: 1380 cd / sq.m

Uniformity: 0,721 (1:1,39)

Right Wall

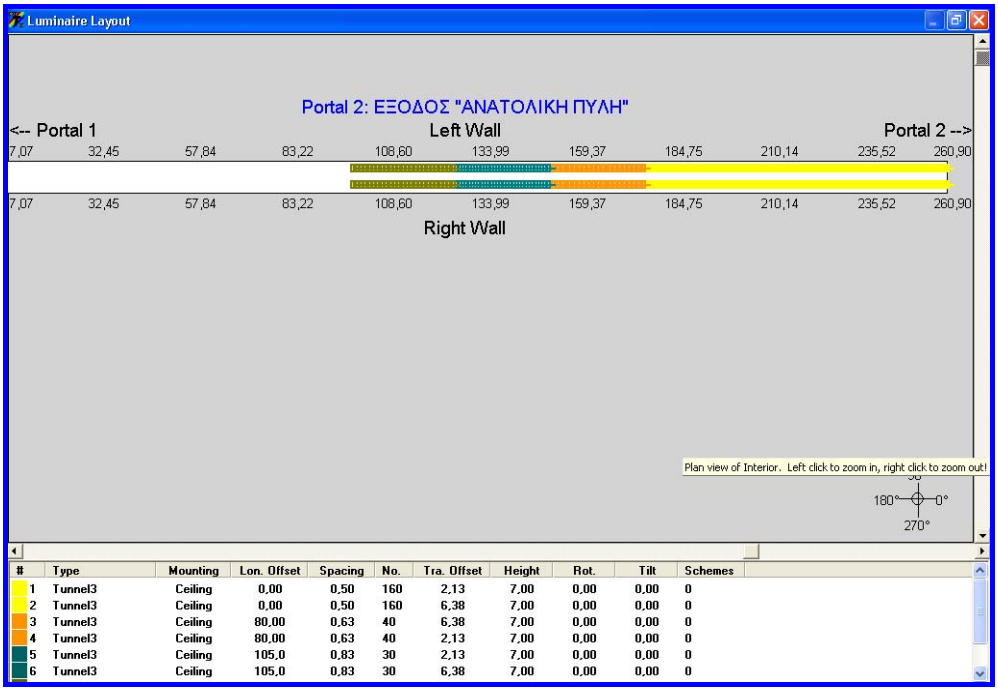
Average Luminance: 1010 cd / sq.m

Minimum: 729 cd / sq.m

Maximum: 1370 cd / sq.m

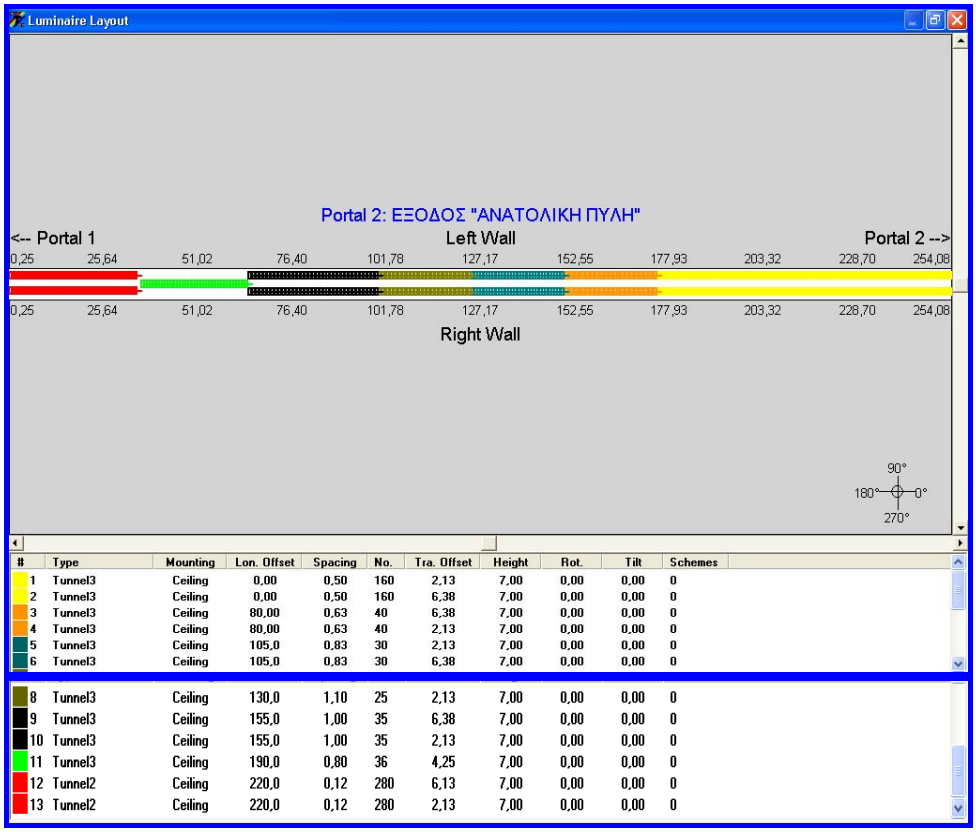
Uniformity: 0,725 (1:1,38)

PORTAL 2 LAYOUT



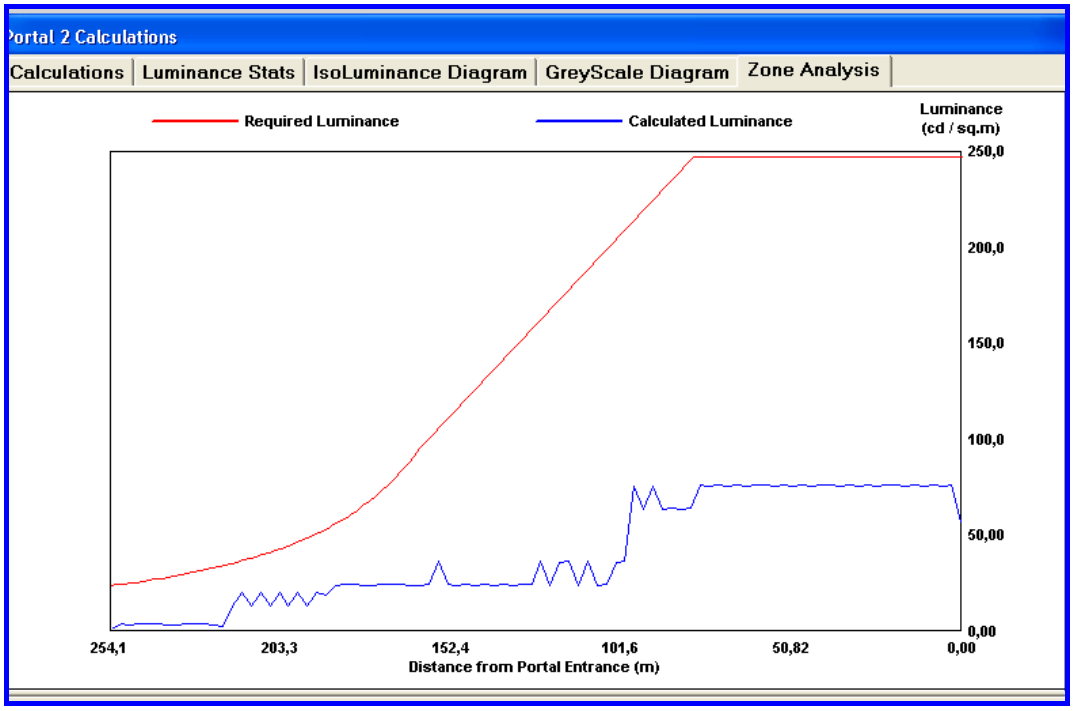
#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
1	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,50	160	2,13	7,00	0,00	0,00	0
2	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,50	160	6,38	7,00	0,00	0,00	0
3	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,63	40	6,38	7,00	0,00	0,00	0
4	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,63	40	2,13	7,00	0,00	0,00	0
5	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,83	30	2,13	7,00	0,00	0,00	0
6	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,83	30	6,38	7,00	0,00	0,00	0

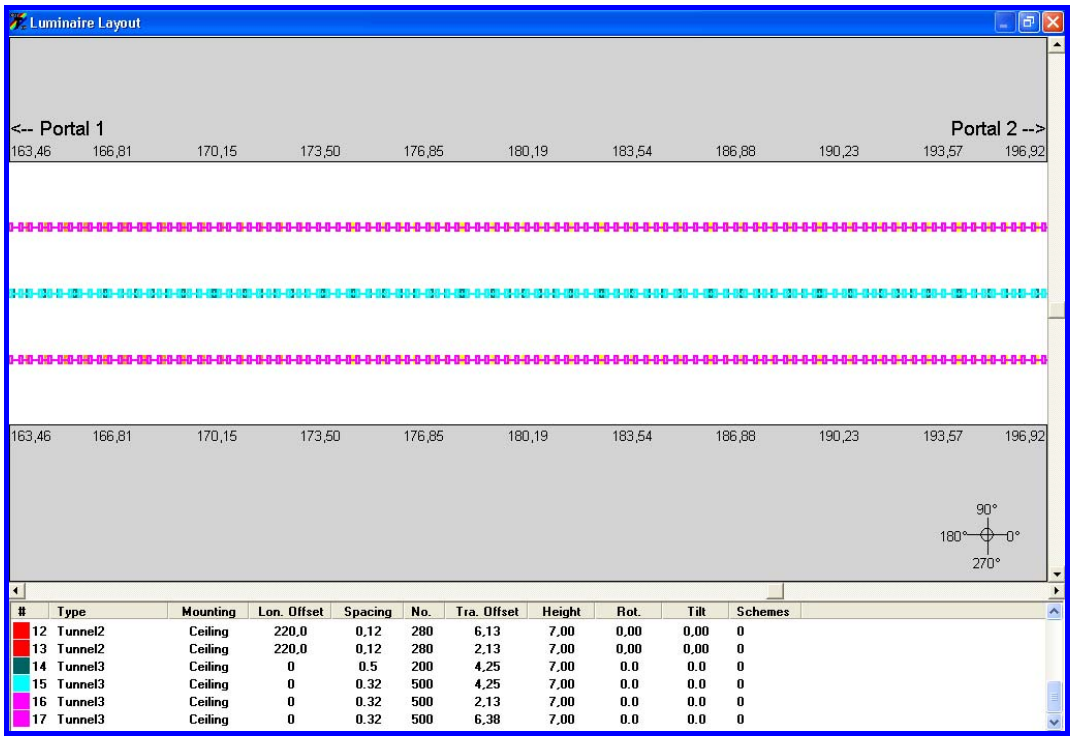
Όμοια με το portal1, οι πρώτες δύο σειρές των φωτιστικών της σήραγγας αποτελούν το πρώτο μισό της ζώνης κατωφλίου όπου η λαμπρότητα είναι σταθερή. Στο επόμενο μισό η λαμπρότητα μειώνεται μέχρι τη τιμή 0,4• L_{th} σε τρία βήματα. Για τη μεταβατική ζώνη του portal 2 συμβαίνει ότι και στη μεταβατική ζώνη portal1.



#	Type	Mounting	Lon. Offset	Spacing	No.	Tra. Offset	Height	Rot.	Tilt	Schemes
1	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,50	160	2,13	7,00	0,00	0,00	0
2	Tunnel3	Ceiling	0,00	0,50	160	6,38	7,00	0,00	0,00	0
3	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,63	40	6,38	7,00	0,00	0,00	0
4	Tunnel3	Ceiling	80,00	0,63	40	2,13	7,00	0,00	0,00	0
5	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,83	30	2,13	7,00	0,00	0,00	0
6	Tunnel3	Ceiling	105,0	0,83	30	6,38	7,00	0,00	0,00	0
8	Tunnel3	Ceiling	130,0	1,10	25	2,13	7,00	0,00	0,00	0
9	Tunnel3	Ceiling	155,0	1,00	35	6,38	7,00	0,00	0,00	0
10	Tunnel3	Ceiling	155,0	1,00	35	2,13	7,00	0,00	0,00	0
11	Tunnel3	Ceiling	190,0	0,80	36	4,25	7,00	0,00	0,00	0
12	Tunnel2	Ceiling	220,0	0,12	280	6,13	7,00	0,00	0,00	0
13	Tunnel2	Ceiling	220,0	0,12	280	2,13	7,00	0,00	0,00	0

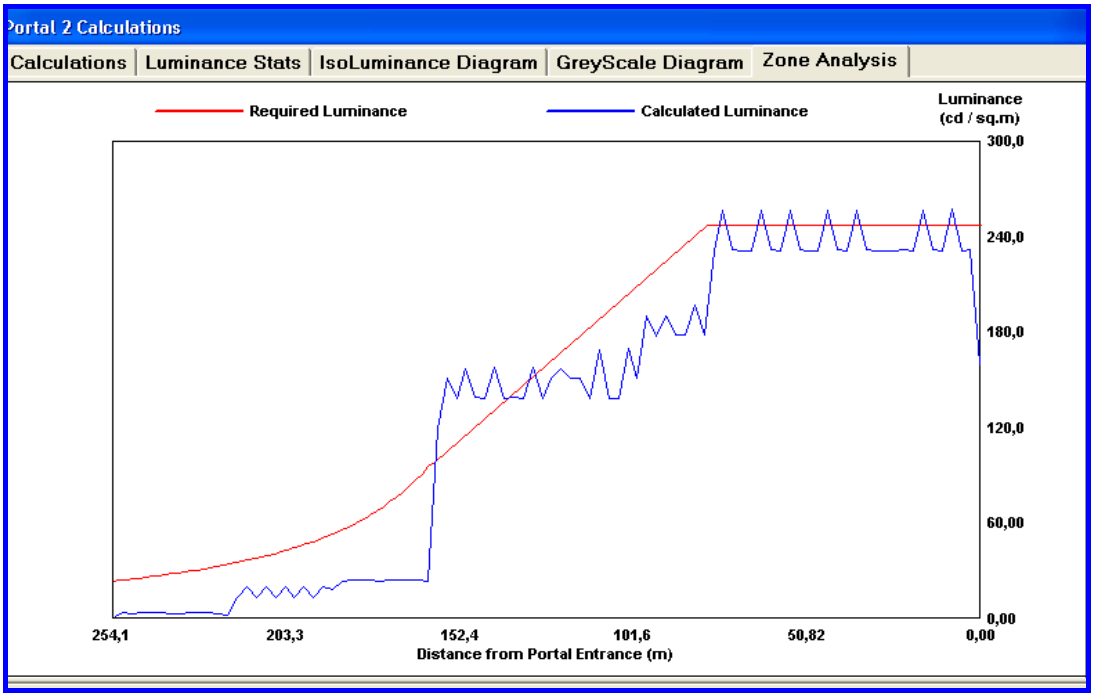
Έχουμε τοποθετήσει σειρές φωτιστικών σωμάτων σε αποστάσεις κατάλληλες ώστε να αποφευχθεί το flickering. Ωστόσο το αποτέλεσμα δεν είναι ικανοποιητικό και έτσι προσθέτουμε και άλλες σειρές φωτιστικών στη ζώνη κατωφλίου (σειρές 14-17). Η μεταβολή της καμπύλης είναι διακριτή και τελικά λαμβάνουμε την επιθυμητή τιμή.

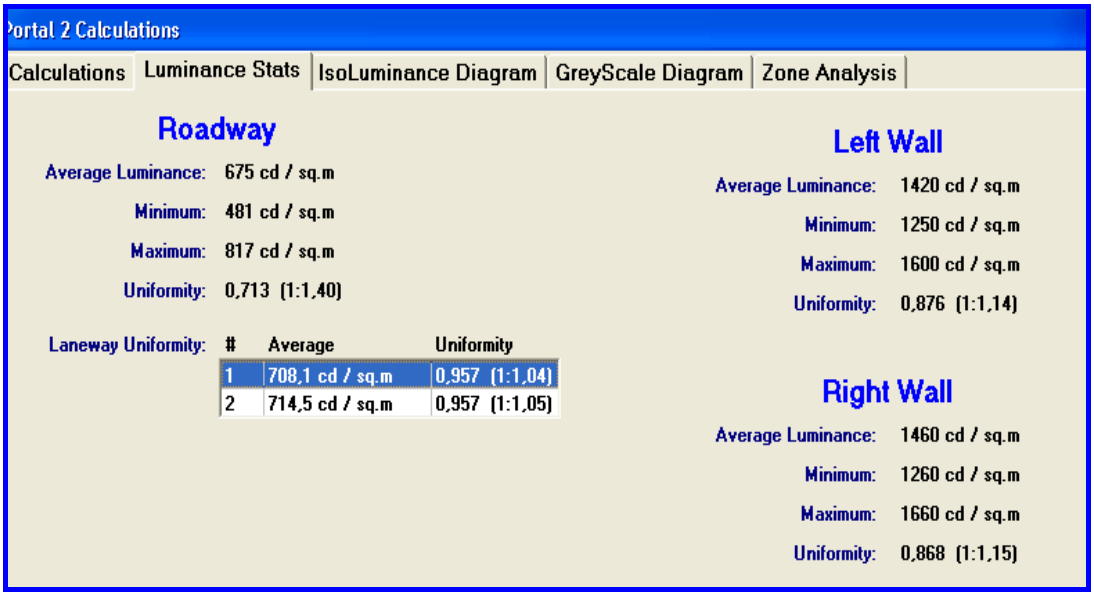




Για την αποφυγή του φαινομένου της φωτεινής πάλμωσης τοποθετούμε τα φωτιστικά σώματα σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 100 (Km/h)/2,5=11,1 m και μικρότερες από 60 (Km/h)/15=1,11 m, όπου θεωρήσαμε μέγιστη σχεδιαστική ταχύτητα οχημάτων 100 Km/h και ελάχιστη 60 Km/h.

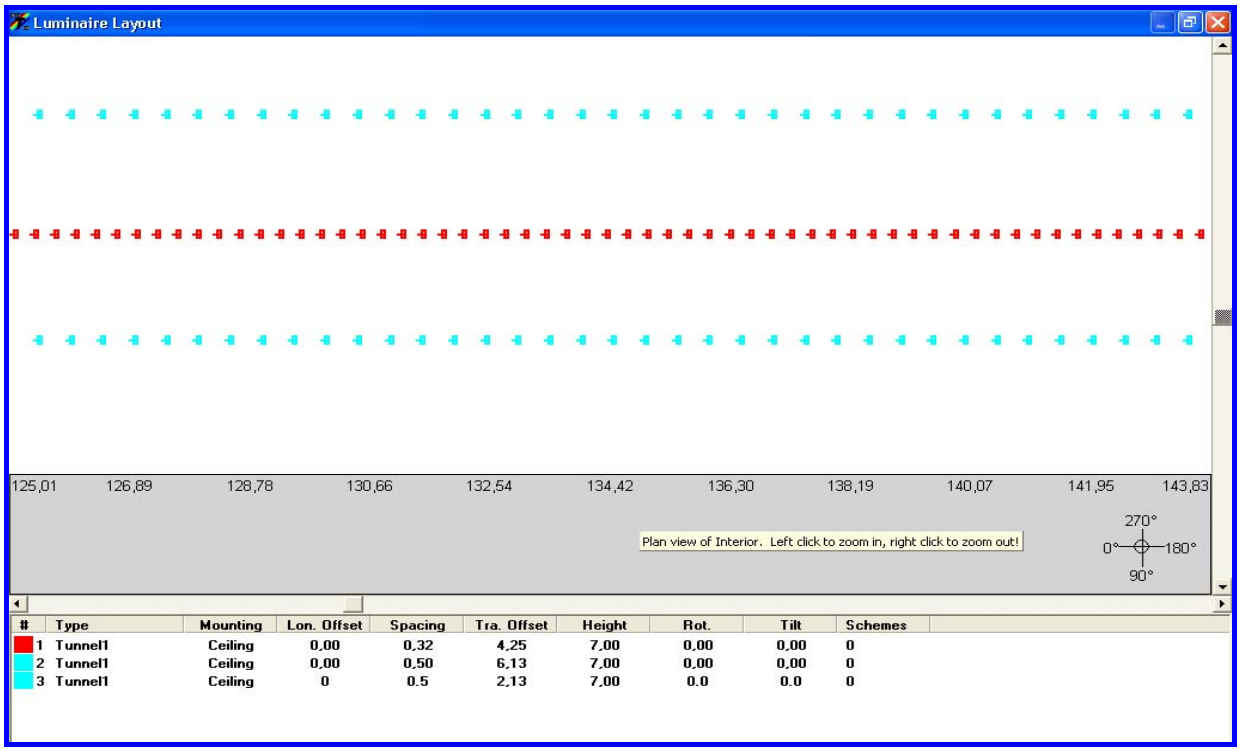
Συνίσταται τα φωτιστικά σώματα κατά μήκος της σήραγγας να τοποθετούνται σε δύο σειρές, στο κέντρο κάθε λωρίδας κυκλοφορίας, ώστε να επιτευχθεί η απαίτηση κατά CIE 88-1990, η μέση λαμπρότητα στους τοίχους της σήραγγας μέχρι ύψους 2 μ. θα πρέπει να είναι ίση με τη μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος.

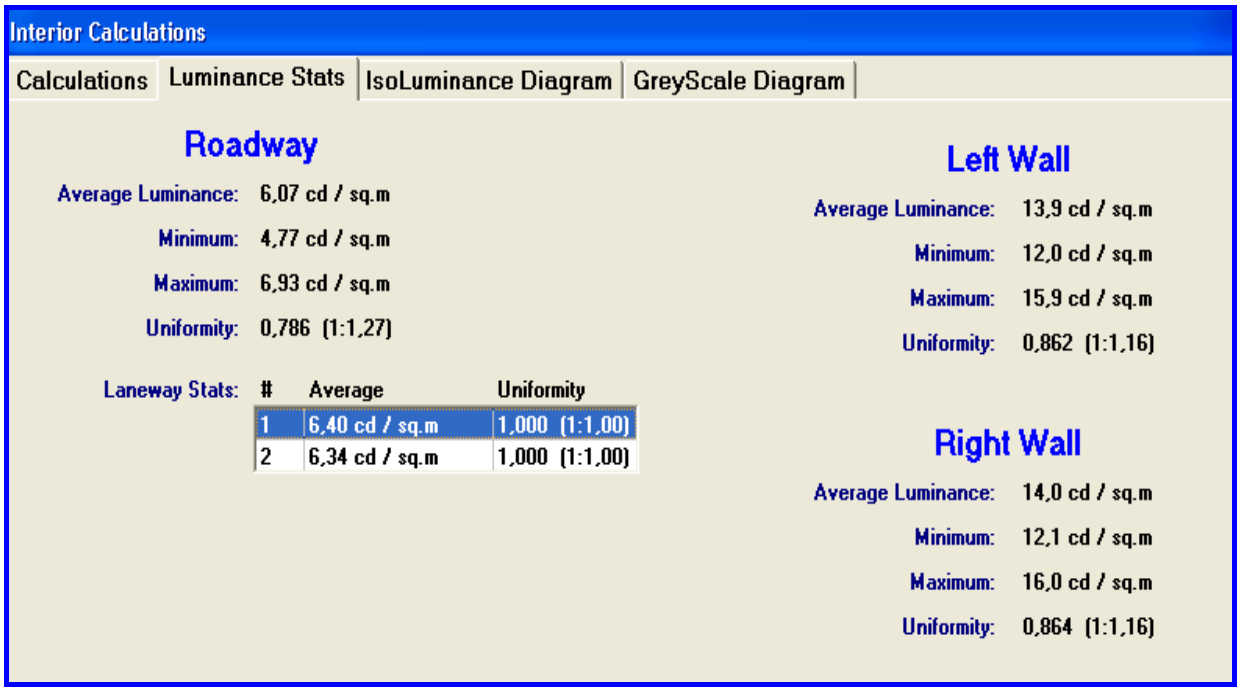




ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΖΩΝΗ

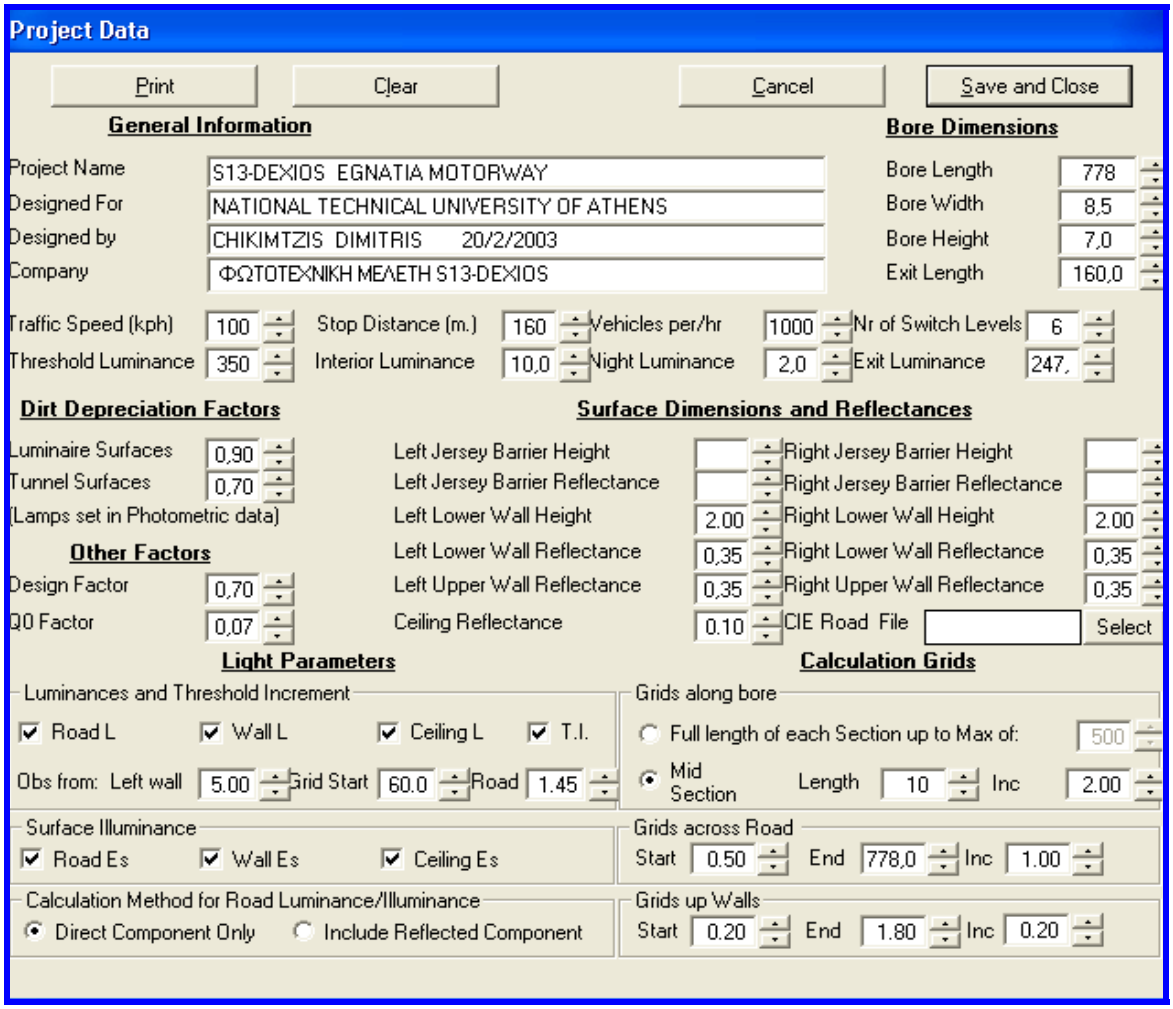
Η τιμή L_{in} λαμβάνεται από πίνακες και εξαρτάται από τη πυκνότητα κυκλοφορίας και την απόσταση ασφαλούς πέδησης.





8.3 Πρόγραμμα TULIP (Tunnel Lighting Program)

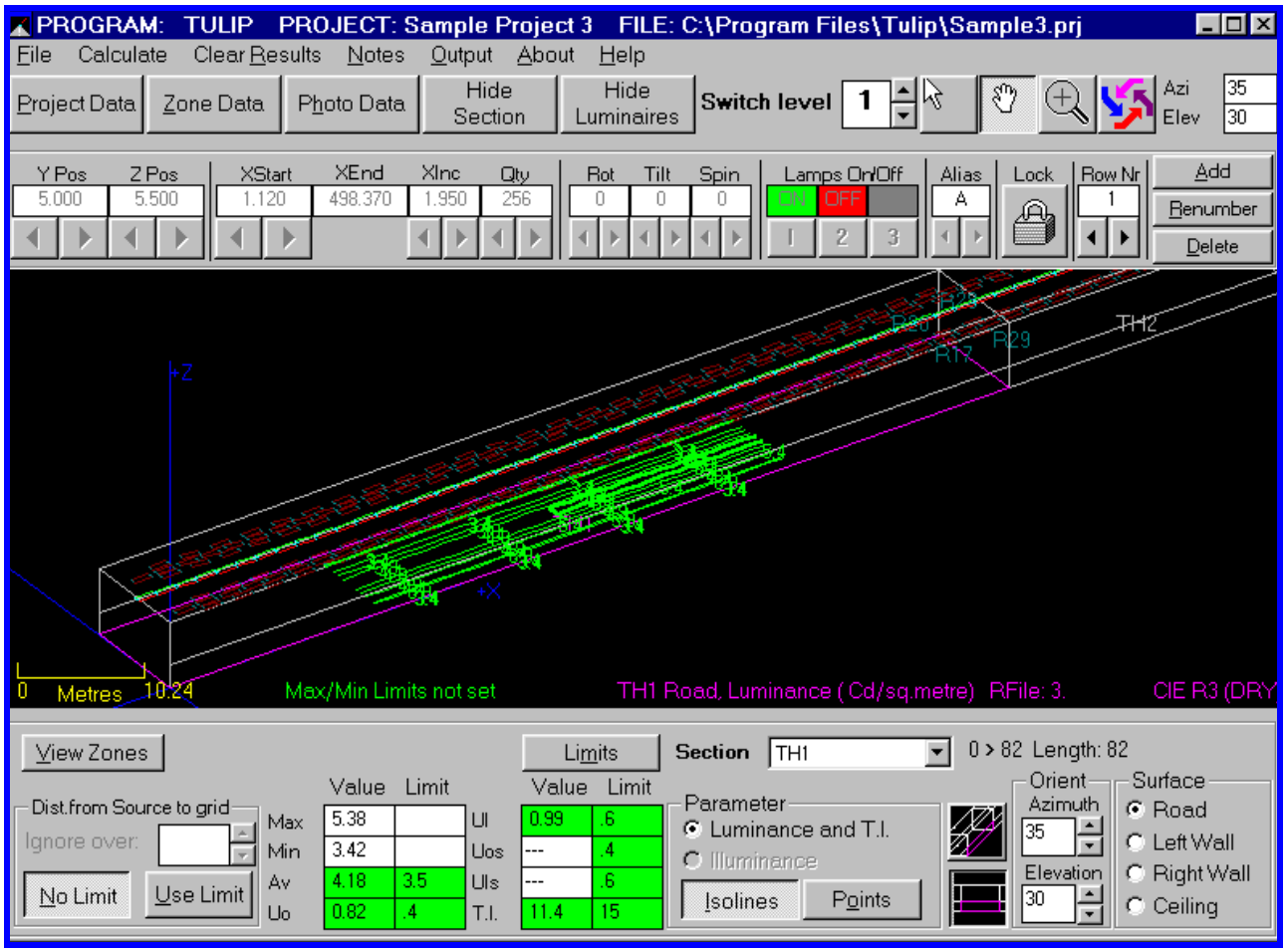
Όπως και στη περίπτωση του προγράμματος DPTunnel, ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα, δημιουργώντας έτσι τα στοιχεία ή δεδομένα της φωτοτεχνικής μελέτης μας (project data), όπως φαίνεται παρακάτω.



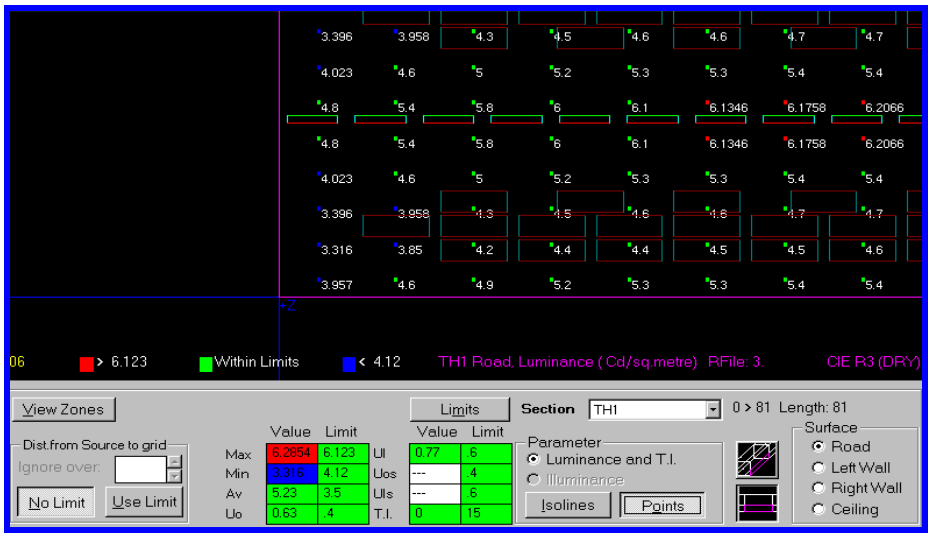
Δίνονται όλα τα δεδομένα που αφορούν μήκος, πλάτος, ύψος σήραγγας, μήκος εξόδου σήραγγας, ταχύτητα και πυκνότητα κυκλοφορίας, το υπολογισμένο SSD, η απαιτούμενη λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου , της εσωτερικής ζώνης, της ζώνης εξόδου, του νυχτερινού φωτισμού, και το πλήθος των διακοπτών (για λειτουργία νυχτερινού φωτισμού, πρωινού, απογευματινού κτλ). Επίσης δίνουμε τους υπολογισμένους συντελεστές ανάκλασης και συντήρησης για τους τοίχους και τα φωτιστικά. Και τέλος δίνουμε το πλέγμα μέτρησης κριτηρίων ποιότητας οδοστρώματος και τοίχων (grids).

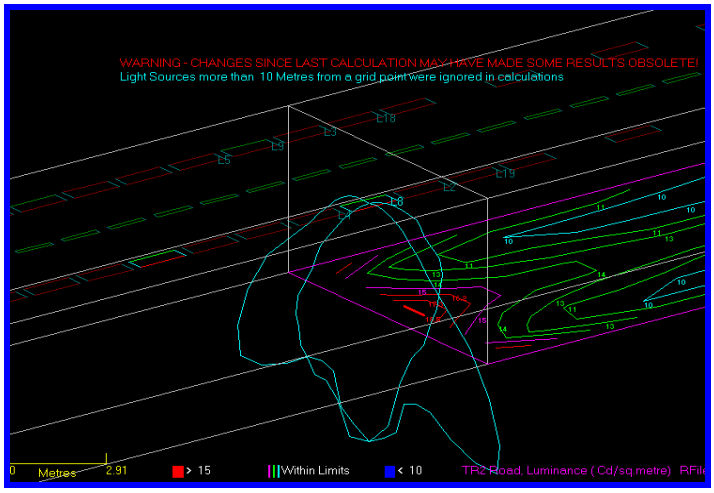
Οι γραφικές δυνατότητες του προγράμματος μας δίνουν τρισδιάστατη απεικόνιση της σήραγγας και ο έλεγχος, η μεταρρύθμιση επιτυγχάνεται γραφικά. Το παρακάτω παράθυρο περιέχει όλους τους ελέγχους για τη διαχείριση των διάφορων σταδίων ενός σχεδίου φωτισμού σηράγγων, το χειρισμό των συσκευών φωτισμού, τις ζώνες και τον έλεγχος της σήραγγας, τα οποία καθοδηγούνται γραφικά και στατιστικά, με δυνατότητα αλλαγής του τρέχοντος επιπέδου διακοπτών. Επιλέγονται τα φωτομετρικά στοιχεία που θέλουμε να εισαχθούν στο πρόγραμμα, για να

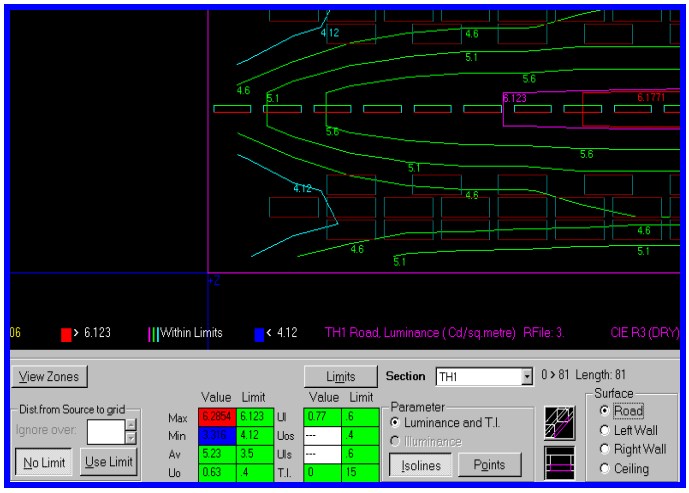
επιτραπούν στα φωτομετρικά αρχεία να επιλέξουν τη ροή και το συντελεστή λαμπτήρων ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Αυτή η περιοχή χρησιμοποιείται για να έχουμε εικόνα του σχεδιαγράμματος των συσκευών φωτισμού σηράγγων σε τρεις διαστάσεις και για να δούμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών, των θέσεων των συσκευών φωτισμού, των τμημάτων της σήραγγας και των υπολογισμένων παραμέτρων ως σημεία ή με φωτομετρικά διαγράμματα.

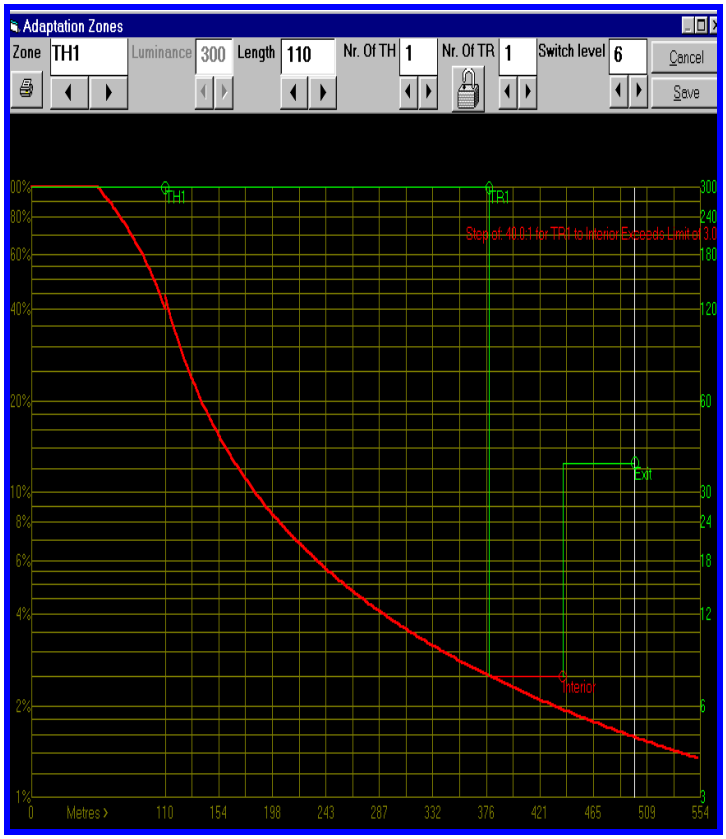


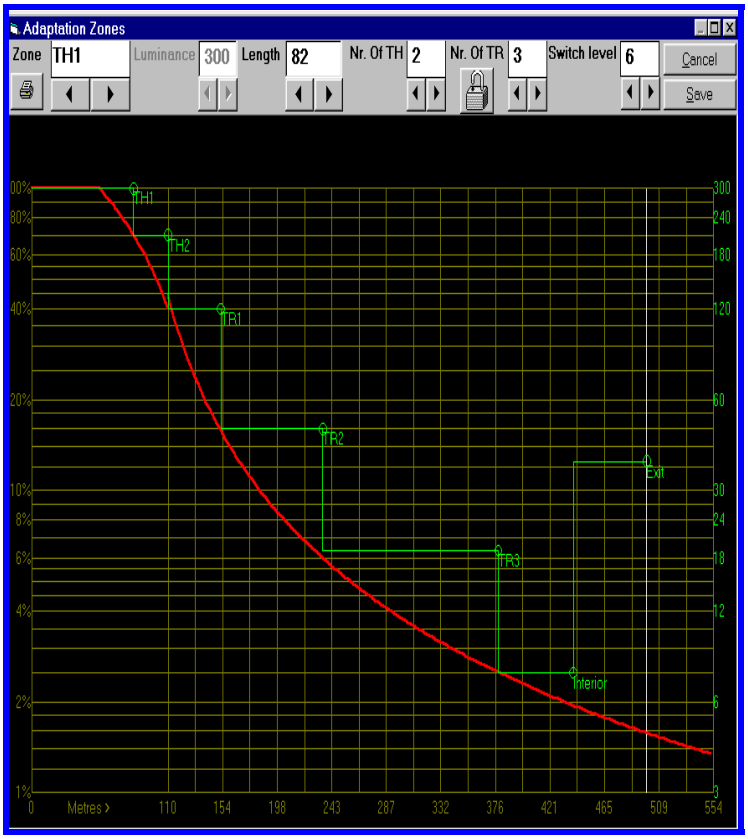




Βαθύ πορφυρό: Τρέχουσα επιφάνεια εργασίας.
Πράσινο: Φωτιστικά σώματα που είναι αναμμένα.
Κόκκινο: Φωτιστικά σώματα που δεν είναι αναμμένα.
Κυανό: Μέρος των συσκευών φωτισμού που δεν χρησιμοποιούνται.

Στο επόμενο παράθυρο οι φωτεινότητες αναφέρονται στην ονομαστική φωτεινότητα οδικής επιφάνειας για το ιδιαίτερο επίπεδο ζώνης και διακοπτών. Το παράθυρο τοποθετήσεων και προτιμήσεων επιτρέπει στα στοιχεία ζώνης προεπιλογής να βελτιστοποιηθούν ή όχι (ανάλογα αν επιδιώκεται). Ο αριθμός ζωνών μετάβασης και τα μήκη και οι φωτεινότητές τους βελτιστοποιούνται από το πρόγραμμα για να συναντηθούν τα επίπεδα μετατροπής, η αναλογία και η αναλογία απαιτήσεων διακοπτών βημάτων για όλα τα επίπεδα διακοπτών όπου είναι δυνατόν.





Τέλος σημειώνουμε ότι πολλές εταιρείες έχουν δημιουργήσει λογισμικό είτε για φωτισμό σηράγγων, είτε για τον έλεγχο των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων της σήραγγας περιλαμβανομένου και του φωτισμού.

Η Industria-Siemens έχει αναπτύξει το πρόγραμμα **Tunnel 1.1u** για περιβάλλον Windows για φωτισμό σηράγγων. Η Philips για το φωτισμό σηράγγων χρησιμοποιεί το λογισμικό **Area Calculux** που περιέχει κατάλληλη βάση δεδομένων για φωτισμό σηράγγων και δρόμων. Όμοια η Intelux διαθέτει το πρόγραμμα **Tunnel Combi Pack** που εκτός του φωτισμού κάνει και έλεγχο όλων των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων της σήραγγας. Πρόσφατα η Siemens έχει δημιουργήσει το πρόγραμμα **Simatic S7** με δυνατότητες πλήρους ελέγχου της σήραγγας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ-ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ-ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

9.1 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ-ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ

Τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται είναι κατάλληλα για φωτισμό σηράγγων, εξαιρετικής αντοχής σε οξείδωση από επίδραση διαβρωτικών αερίων (π.χ. διοξειδίου του θείου) και υψηλού βαθμού στεγανότητας.
Η κατασκευή των φωτιστικών σωμάτων είναι τέτοια ώστε:

α. να μην προκαλούν θάμβωση στους οδηγούς.
β. να πληρούν τις απαιτήσεις ασφαλείας των κανονισμών.
γ. να καθίσταται εύχρηστη η αλλαγή των λαμπτήρων, των οργάνων αφής καθώς και του εμπρόσθιου καλύμματος αυτών.

Κέλυφος φωτιστικού σώματος

Το κέλυφος του φωτιστικού σώματος είναι από χυτοπρεσσαριστό κράμα αλουμινίου με ελάχιστο πάχος τοιχώματος 2mm και εξαιρετική αντοχή.

Το κέλυφος θα έχει υποστεί επιπλέον ειδική αντιδιαβρωτική επεξεργασία με ειδικό υπόστρωμα και βαφή πάχους οπωσδήποτε 60μm, ώστε η επιφάνεια του να μη συσσωρεύει σκόνη και να καθαρίζεται εύκολα.

Οπτικό σύστημα

Το κάτοπτρο του φωτιστικού πρέπει να αφαιρείται εύκολα, ώστε να αποκαλύπτονται τα εσωτερικά ηλεκτρικά όργανα του φωτιστικού, φτιαγμένο από ανοδειωμένο αλουμίνιο καθαρότητας 99,9%, γυαλιστερής επιφάνειας ή στιλπνής, αναλόγως του αν πρόκειται για συμμετρική ή ασύμμετρη κατανομή του φωτισμού.

Εμπρόσθιο κάλυμμα

Το κάλυμμα του φωτιστικού πρέπει να είναι από χυτοπρεσσαριστό αλουμίνιο και να συνδέεται στο σώμα του φωτιστικού με εξαρτήματα από ανοξείδωτο χάλυβα.

Η στερέωση του καλύμματος πάνω στο φωτιστικό γίνεται με σύστημα ασφαλείας ώστε να συγκρατείται πάνω στο φωτιστικό, αλλά και να υπάρχει εύκολη προσπέλαση στο εσωτερικό του.

Το γυαλί προστασίας πρέπει να είναι ενισχυμένο, πάχους το λιγότερο 5mm , έτσι ώστε να αντέχει στις μηχανικές καταπονήσεις (κρούσεις, εκτοξευόμενες πέτρες, ωστικά κύματα που δημιουργεί η διέλευση των οχημάτων κλπ).

Βαθμός προστασίας

Ο βαθμός προστασίας του φωτιστικού πρέπει να είναι τουλάχιστον IP65 για να επιτρέπεται η πλύση των φωτιστικών της σήραγγας με μάνικα.

Τα παρεμβύσματα στεγανότητας των φωτιστικών σωμάτων προβλέπονται να είναι από άριστης ποιότητας ειδικό υλικό (π.χ. αιθυλοπροπυλένιο ή πυριτιούχο ελαστικό), ώστε να αντέχει στις μηχανικές καταπονήσεις, διαμορφωμένο σε ενιαίο τεμάχιο χωρίς συγκολλήσεις, ώστε να αποκλείεται η διάρρηξη, ο θρυμματισμός ή η αποκόλληση του με την πάροδο του χρόνου.

Στα σημεία εισόδου και εξόδου του καλωδίου, το φωτιστικό πρέπει να φέρει επίσης ειδικά εξαρτήματα στεγανοποίησης της κατασκευής και να αποκλείει την είσοδο σκόνης, νερού, εντόμων κλπ μέσα στο σώμα του. Περισσότερα για το βαθμό προστασίας δίνονται στο τέλος του κεφαλαίου.

Όργανα αφής - Ηλεκτρικά όργανα

Τα όργανα (συσκευή ταχείας εναύσεως, στραγγαλιστικά πηνία, πυκνωτές διάρθρωσης του συντελεστή ισχύος) πρέπει να είναι μέσα στο φωτιστικό σώμα σε ξεχωριστό χώρο, ο οποίος να είναι εύκολα προσιτός μετά την αφαίρεση του οπτικού συστήματος και ειδικά μελετημένος για την καλή απαγωγή της αναπτυσσόμενης θερμότητας.

Για την διανομή του ρεύματος τροφοδότησης μέσα στο φωτιστικό πρέπει να υπάρχει ηλεκτρική μονάδα που περιέχει τον απαραίτητο ηλεκτρικό εξοπλισμό, ακροδέκτες αγωγών διασύνδεσης και ακροδέκτης γείωσης. Οι ακροδέκτες αγωγών διασύνδεσης των λαμπτήρων πρέπει να είναι ισχυρής κατασκευής από πορσελάνη ή βακελίτη, οι δε αγωγοί διασύνδεσης τους προς τους λαμπτήρες και τα όργανα αφής και λειτουργίας να είναι υψηλής μηχανικής και θερμικής αντοχής με μόνωση ανθεκτική σε υψηλές θερμοκρασίες και ελεύθερη αλογόνων τύπου N4GA κατά VDE 0250.

Τα στραγγαλιστικά πηνία (μπάλαστ) αποτελούνται από μεταλλικό περίβλημα, με ακροδέκτη γείωσης. Μέσα στο περίβλημα βρίσκεται ο πυρήνας εμποτισμένος σε πολυεστερινή ρητίνη. Τα πηνία πρέπει να είναι αθόρυβα κατά VDE και εγκεκριμένα ώστε να συνεργάζονται άψογα με τον κατασκευαστή των λαμπτήρων. Η ισχύς που αναρροφάται από τα στραγγαλιστικά πηνία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 15% της ονομαστικής ισχύος του λαμπτήρα.

Οι πυκνωτές διόρθωσης του συνημίτονου πρέπει να έχουν μεταλλικό στεγανό περίβλημα και να διορθώνουν το συνημίτονο περισσότερο από 0,90.

Λυχνιολαβές

Οι λυχνιολαβές πρέπει να είναι από πορσελάνη ή από κατάλληλο αμιαντούχο υλικό και οι επαφές τους να εξασφαλίζουν άριστη ρευματοδότηση των λαμπτήρων ακόμη και σε περιπτώσεις κραδασμών του φωτιστικού σώματος.

Οι λαμπτήρες πρέπει να στερεώνονται με ασφάλεια επάνω στις λυχνιολαβές ώστε να αποκλείεται η απόσφιγξη τους μελλοντικά.

1 **Ελαφρύς χαλκός (κράμα 360,1) χυτοπρεσσαριστό κράμα.** Υψηλής αντοχής πόρτα (δεν στραβώνει όταν στερεώνεται).

2 **Μοναδικό σχέδιο ανακλαστήρων** αποβάλλει τις φωτεινές ραβδώσεις, παρέχει ομοιόμορφο φωτισμό.

3 **Προαιρετική βάση ανοξείδωτου χάλυβα.**

4 **Μετακινούμενη πόρτα για εύκολη πρόσβαση στο εσωτερικό του σώματος (**απλοποίηση της συντήρησης).

5 **Ειδικός ενισχυμένος φακός από γυαλί.**

6 **Κοιλότητα για Καλή απαγωγή της αναπτυσσόμενης θερμότητα και ειδικό στεγνωτικό παρέμβυσμα** ώστε να αποτρέπεται η είσοδος νερού κατά τη διάρκεια της πλύσης τους.

9.1.1. ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν διάφοροι τύποι λαμπτήρων φωτισμού όπως λαμπτήρες Αλογόνου (Halogen), πυράκτωσης, απλοί ή συμπαγείς (compact) λαμπτήρες φθορισμού και λαμπτήρες εκκένωσης αερίων (High Intensity Discharge, HID lamps). Από τους παραπάνω τύπους αυτοί που εξυπηρετούν το αντικείμενο του φωτισμού των σηράγγων είναι οι **λαμπτήρες φθορισμού** και οι **λαμπτήρες HID** και ειδικότερα οι **λαμπτήρες υψηλής πίεσης Νατρίου** (Hígh Pressure Sodium, HPS lamps). Έτσι ανάλογα με την επιλογή του σχεδιαστή είναι δυνατό να υιοθετηθεί η λύση των λαμπτήρων υψηλής πίεσης Νατρίου λόγω της υψηλής απόδοσης τους, της μειωμένης κατανάλωσης και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους. Από την άλλη είναι δυνατό να επιλεγεί η εναλλακτική λύση των λαμπτήρων φθορισμού για μεγαλύτερη άνεση (flicker free), αυτόματη επανέναρξη (hot restart) και δυνατότητα χρήσης συστήματος αυξομείωσης φωτισμού (dimmíng). Ακολουθεί μια μικρή αναφορά στους παραπάνω δύο λαμπτήρες και τα χαρακτηριστικά τους.

α) Λαμπτήρες Υψηλής πίεσης Νατρίου

Ανήκει στην οικογένεια των λαμπτήρων εκκένωσης υψηλής έντασης. Παράγει φως κάνοντας ένα αδρανές αέριο, εδώ ατμοί Νατρίου, να εκπέμψει φωτόνια μέσω μιας ηλεκτρικής εκκένωσης. Η μερική πίεση του Νατρίου κατά την λειτουργία της λάμπας είναι της τάξης των 10^4 Pa. Χαρακτηρίζονται από καλή χρωματική απόδοση, υψηλή φωτεινή απόδοση και διάρκεια ζωής αν και λειτουργούν με ειδικά ballast και γενικά είναι αρκετά δύσκολό να αυξομειώσουν την ένταση τους (dimming).

β) Λαμπτήρες Φθορισμού

Λαμπτήρας εκκένωσης, τύπου χαμηλής πίεσης υδραργύρου. Βασική αρχή λειτουργίας η μετατροπή της υπεριώδους ακτινοβολίας σε ορατό φως μέσω του φαινομένου του φθορισμού. Το φως, εκπέμπεται από ένα στρώμα φθορίζοντος υλικού που διεγείρεται από την υπεριώδη ακτινοβολία που παράγεται κατά την εκκένωση. Χαρακτηρίζονται από καλή αποδοτικότητα και χρωματική απόδοση. Απαιτούν ειδικό κύκλωμα για την έναυση και λειτουργία τους (ballast starter).

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε διάφορους λαμπτήρες επώνυμων και γνωστών εταιρειών ίσως και των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων σε περιπτώσεις φωτισμών σηράγγων.

GENERAL ELECTRIC

α) Λαμπτήρες Υψηλής Πίεσης Νατρίου

Λαμπτήρες κατάλληλοι για φωτισμό σηράγγων. Υψηλή απόδοση, χαμηλό κόστος λειτουργίας, μεγάλη διάρκεια ζωής. Διάφορες σειρές λαμπτήρων Lucalox Standard, HO (High Output), Internal Ignitor, TD (double ended), E-Z Lux και Super Life με διάφορα χαρακτηριστικά:

<u>Χαρακτηριστικά</u>

- Χαμηλό κόστος και ενεργειακά αποδοτική λειτουργία. Υψηλή απόδοση μέχρι και 150 lm/Watt. Περισσότερη ενέργεια σε φως μειώνει τα ενεργειακά και λειτουργικά έξοδα.

- Υψηλή φωτεινότητα που διατηρείται σταθερή καθ' όλη την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.
- Διάρκεια ζωής 28500 h. Μειώνει σημαντικά τα κόστη συντήρησης και αντικατάστασης.
- Πατενταρισμένο Amalgam Reservoir που ελέγχει τον τρόπο τροφοδοσίας του μίγματος αερίου και εξασφαλίζει μεγάλη διάρκεια ζωής, λιγότερο μαύρισμα (blackening) και άρα διατήρηση της φωτεινότητας της λάμπας.
- Για την σειρά HO μέχρι και 20% περισσότερα lumens και απόδοση 150 lm/W.
- Για την σειρά Internal Ignitor: ενσωματωμένος εκκινητής με compact μέγεθος
- Για την σειρά E-Z Lux: λειτουργία με τα ballast των λαμπτήρων υδραργύρου για άμεση αντικατάσταση – αναβάθμιση, 14% μείωση ενεργειακού κόστους, 40% περισσότερο φως.
- Για την σειρά Super Life: διαθέτει extra ακίδα που δίνει την δυνατότητα άμεσης έναυσης της λάμπας μετά από διακοπή ρεύματος και φτάνει στο μέγιστο της φωτεινότητας του μέσα σε 1-2 min. Επίσης αυξάνει το όριο ζωής του λαμπτήρα στις 55000 h.

β) Λαμπτήρες Φθορισμού

Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες της εταιρίας αποτελούν σχεδόν παγκόσμιο πρότυπο. Πλήρης σειρά λαμπτήρων με μεγάλη ποικιλία μεγεθών, σχημάτων, χρωματικών αποδόσεων και ισχύων. Τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων φθορισμού διαφέρουν αρκετά ανάλογα με τον τύπο τους.

Χαρακτηριστικά

- Χαμηλό κόστος λειτουργίας. Αποδοτικοί λαμπτήρες φθορισμού με σαφώς χαμηλότερο κόστος λειτουργίας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους.
- Μεγάλο χρόνο ζωής. Χρόνοι ζωής από 6000 έως 24000 ώρες ανάλογα με τον τύπο.
- Ποιότητα φωτός. Οι λαμπτήρες T8 προσφέρουν καλύτερη χρωματική απόδοση και υψηλότερη διατήρηση φωτεινότητας (95%).

OSRAM

α) Λαμπτήρες υψηλής πίεσης Νατρίου

Σειρά VIALUX NAV 4Y (4 years) (50~400W)

Όριο ζωής για εξωτερική χρήση 4 χρόνια (service life 16000h), μεγάλη αξιοπιστία με ποσοστό αστοχίας 5% μετά από 16000h, μείωση κόστους αντικατάστασης περίπου 25%, τεχνολογικά εξελιγμένη κατασκευή με μεγάλο φάσμα ισχύων.

β) Λαμπτήρες φθορισμού

Σειρά Endura (100, 150W)

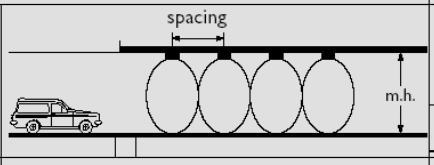
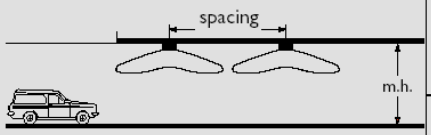
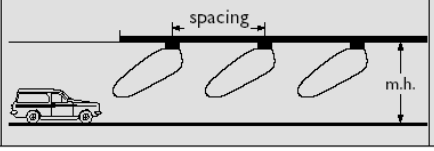
Εξαιρετικά μεγάλο χρόνο ζωής 60000h, υψηλή φωτιστική απόδοση> 80 lm/W, color rendering > 80, χαμηλή συχνότητα λειτουργίας 250KHz, θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι -25^{0}C, έναυση χωρίς τρεμόπαιγμα, δυνατότητα λειτουργίας σε συνεχές ρεύμα DC.

Σειρά FH (15 ~35 W)

Με λαμπτήρες διαμέτρου 16mm για εξοικονόμηση χώρου και μέγιστη φωτιστική απόδοση. Μειονέκτημα οι μικρές διαθέσιμες ισχύς των λαμπτήρων.

PHILIPS

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται οι τύποι των λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται από τη Philips ανάλογα με το σύστημα φωτισμού που σχεδιάζεται ο φωτισμός της σήραγγας.

Typical light distribution of the luminaire		max. sp/m.h. ratio	Preferred lamp type	Efficiency cd/W (q_0=0.1)
Symmetrical-transversal		1.5	TL-D/PL-L	2.0
		1.5	SOX-E	4.0
		2.0	SON-T	2.8
Symmetrical-axial		3.5	SOX-E	4.5
		3.5	QL	2.4
		4	SON-T	3.5 - 4
Asymmetrical-counterbeam		2-2.5	SON-T	4.5

α) Λαμπτήρες Υψηλής πίεσης Νατρίου

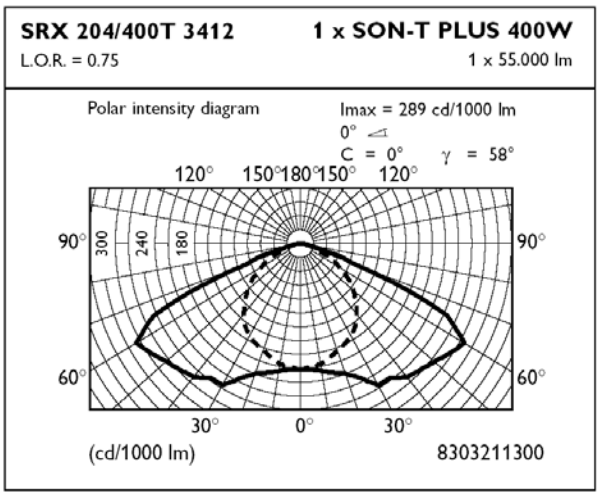
Εκτός από τις τυπικές σειρές λαμπτήρων που διαθέτει όπως οι SON/SON-T conventional (50-1000W) ξεχωρίζουν οι σειρές:

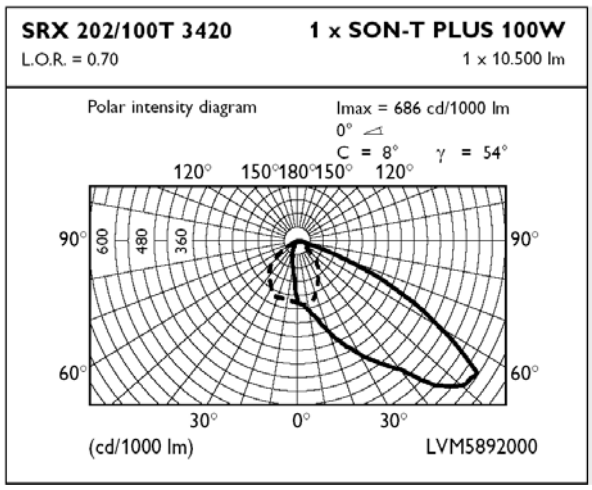
<u>Σειρά SON-H: HPL retrofit (220-350W)</u>

Λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου κατάλληλοι για άμεση αντικατάσταση των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου χωρίς καμία αλλαγή στην εγκατάσταση φωτισμού διευκολύνοντας έτσι την αναβάθμιση με την χρήση λαμπτήρων που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και παρέχουν περισσότερο φως.

<u>Σειρές SON (-T) PLUS (50-600W)</u>

Λαμπτήρες πίεσης νατρίου με υψηλή απόδοση 150 lm/W και χαμηλή κατανάλωση.





Πολικά διαγράμματα των λαμπτήρων SON-T PLUS

Σειρές SON (-T) Hg-free (100-400W)

Λαμπτήρες χωρίς υδράργυρό και μόλυβδο (mercury, lead free) για άμεση αντικατάσταση και αναβάθμιση της εγκατάστασης σε μια πιο οικολογική αλλά εξίσου αξιόπιστη εφαρμογή.

Χαρακτηριστικά (για τις σειρές PLUS και Hg-free)

- Ειδική τεχνολογία PIA (Philips Integrated Antenna) που εξασφαλίζει αξιόπιστη λειτουργία με λιγότερες πρόωρες αστοχίες-βλάβες.
- Τεχνολογία ZrAl getter που εξασφαλίζει την καθαρότητα του εξωτερικού λαμπτήρα καθ' όλη την διάρκεια ζωή του.
- Χωρίς μόλυβδο (χωρίς υδράργυρο για την Hg-free). Χρήση του αδρανούς αερίου Ξένον.
- Κατασκευή με λιγότερα σημεία κόλλησης για μεγαλύτερη αξιοπιστία.
- Χρήση εξωτερικού ballast και ignitor.
- Standard ωοειδές και σωληνωτό σχήμα.

β) Λαμπτήρες Φθορισμού

Μεγάλη ποικιλία λαμπτήρων τόσο απλών όσο και συμπαγών. Ξεχωρίζει:

Σειρά QL /827 (55-85-165W)

Λαμπτήρες φθορισμού επαγωγής.

Ένας καινούριος τύπος λαμπτήρων επαγωγής.

Χαρακτηριστικά

- Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, μέχρι 15 χρόνια, για 4000 ώρες λειτουργίας το χρόνο.
- Σταθερή απόδοση φωτός, ανεξάρτητη από τις πτώσεις τάσεως (για διακυμάνσεις της τάσης 184~255V η φωτεινή ροή κυμαίνεται ±2% το μέγιστο).
- Αυτόματο διακόπτη κυκλώματος, ο οποίος ενεργοποιείται μέσα σε 5 sec σε περίπτωση που ο λαμπτήρας αποτύχει να ανάψει.
- Εκκίνηση χωρίς flickering, ιδανικοί για εφαρμογές με συχνές εναύσεις και σβησίματα.
- Συντελεστής ισχύος >0.96 και χαμηλή κατανάλωση.
- Χρόνος έναυσης < 0.5 sec.

9.1.2 ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ

Στο πρόβλημα της οπτικής προσαρμογής του οδηγού κατά την διάρκεια προσέγγισης της εισόδου μιας σήραγγας την ημέρα, υπάρχουν διάφορα συστήματα φωτισμού και κατά συνέπεια φωτιστικά σώματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα συστήματα αυτά έχουν στόχο τους την ενίσχυση της αντίθεσης μεταξύ των αντικειμένων και του περιβάλλοντα χώρου (contrast). Τα συστήματα αυτά φωτισμού όπως έχουμε ήδη αναφέρει είναι:

α) Συμμετρικό σύστημα φωτισμού - Συμμετρικά φωτιστικά σώματα

Το φως διαχέεται συμμετρικά σε σχέση με το επίπεδο κυκλοφορίας προς όλες τις διευθύνσεις.

β) Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού - Ασύμμετρα φωτιστικά σώματα
Το φως διαχέεται ασύμμετρα σε σχέση με το επίπεδο κυκλοφορίας προς όλες τις διευθύνσεις:

- **Counter-beam**: Η μέγιστη φωτεινή ένταση κατευθύνεται αντίθετα από την φορά κίνησης των οχημάτων. Αυτό το σύστημα φωτισμού ενισχύει τη αρνητική αντίθεση - contrast και αυξάνει τα επίπεδα λαμπρότητας του οδοστρώματος.
- **Pro-beam**: Η φωτεινή δέσμη στοχεύει προς την ίδια κατεύθυνση με την κατεύθυνση κίνησης των οχημάτων. Αυτό το σύστημα φωτισμού έχει το πλεονέκτημα ότι σε σήραγγες με μεγάλη κυκλοφορία ενισχύει την θετική αντίθεση φωτισμού στο πίσω μέρος των οχημάτων μπροστά από τον οδηγό.

Τέλος σημαντικό είναι ότι τα φωτιστικά σώματα που τοποθετούνται στο εσωτερικό της σήραγγας - θα πρέπει να πληρούν κάποιες αυστηρές μηχανικές προδιαγραφές. Αυτό λόγω της ιδιαίτερα μολυσμένης και διαβρωτικής ατμόσφαιρας (υγρασία, εκπομπές αερίων των οχημάτων, κλπ) και λόγω των συνθηκών πλύσης και συντήρησης τους (πλύση με δέσμη νερού υψηλής πίεσης). Έτσι τα φωτιστικά σώματα που τοποθετούνται και εκτίθενται σε αυτές τις σκληρές συνθήκες θα πρέπει να έχουν επίπεδο προστασίας τουλάχιστον ίσο με IP65 που εξασφαλίζει επαρκής προστασία απέναντι στη σκόνη και το νερό. Περισσότερα για την προστασία των φωτιστικών και τον κώδικα IP της IEC στο τέλος του κεφαλαίου.

GENERAL ELECTRIC

Φωτιστικό TUNNEL GUARD για τοποθέτηση στην οροφή της σήραγγας.

Χαρακτηριστικά

- Δυνατότητα τοποθέτησης λαμπτήρων 70~400W υψηλής πίεσης νατρίου και 400W μεταλλικών ατμών αλογόνου (MH).
- Κατασκευή με προστασία IP65 (πίεση μέχρι και 100 psi για πλύσιμο με μάνικα).
- Εξειδικευμένα φωτομετρικά χαρακτηριστικά για χαμηλή-θάμβωση (glare).

INDUSTRIA

Σειρές φωτιστικών: 2814, 2801TLS/TLA, 2880, 2881, 2801 TLC,2801 TLK

Χαρακτηριστικά

- Δυνατότητα τοποθέτησης λαμπτήρων 100-600W υψηλής πίεσης νατρίου, λαμπτήρων φθορισμού 36W και 55W καθώς και QL, LPS, CFL.
- Δυνατότητα τοποθέτησης σε σειρά ενωμένων φωτιστικών με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας φωτεινής γραμμής και την αύξηση της ομοιομορφίας.
- IP65..
- Ανακλαστήρες Counterbeam, Soft Counterbeam, Probeam και Point Symmetrical (Συμμετρικός φωτισμός και Ασύμμετρος φωτισμός).
- Δυνατότητα τοποθέτησης δύο λαμπτήρων σε ένα φωτιστικό.

METROLUX

VL VisionMaster

Κατασκευή φωτιστικών σωμάτων.
Σειρές VL VisionMaster, LPL 2000 και LPL HO.
Χαρακτηριστικά

- Ειδικός φακός PrismaLouver για λιγότερη θάμβωση. Ο φακός αυτός είναι ειδικά σχεδιασμένος για την εξάλειψη του φαινομένου της θάμβωσης.
  Ο συγκεκριμένος φακός λειτουργεί σαν γρίλια (louver) αποκόπτοντας την πλαϊνή θάμβωση (side glare) επιτρέποντας το φως να διαχέεται ευθεία.
- Χρήση με λαμπτήρες ισχύος μέχρι και 750W. Ειδικότερα 150W, 250W και 400W για λαμπτήρες υψηλής πίεσης Νατρίου και 175W, 250W, 400W και 750W για λαμπτήρες μεταλλικών ατμών αλογόνου.
- Σε καθιερωμένη διάταξη, δέχονται δύο λαμπτήρες φθορισμού T12 των 34W με μαγνητικά ballast και τον ανακλαστήρα βαμμένο σε χρώμα άσπρο.

PHILIPS

Σειρά **TUNLITE** SRX/KRX/FRX/XRX

Χαρακτηριστικά

- 4 τύποι φωτιστικών και 9 τύποι κατόπτρων.
- Δυνατότητα χρήσης λαμπτήρων SON-T 70~400W, SOX/SOX-E 26~180W, PL-L/4P 36W και 55W και QL 55W και 85W.
- IP66
- Συμμετρικός φωτισμός και Ασύμμετρος φωτισμός.

S/K/F/ XRX 204

SRX 202

S/K/F/ XRX 206

S/K/F/X 203

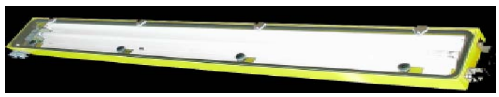
Σειρά **TU** FRX 100/036 **KOMBI**
SRX 100/070 KOMBI
SRX 100/100 KOMBI
XRX 100/036 KOMBI
ZRX 109

Όμοια χαρακτηριστικά με αυτά της σειράς TUNLITE.

TU KOMBI

RIGAMONTI

Φωτιστικά RNH300, RFL3OO


RFL3OO

Χαρακτηριστικά

- Δυνατότητα τοποθέτησης λαμπτήρων υψηλής πίεσης νατρίου (HPS) και λαμπτήρων φθορισμού T8.
- IP65.

SCHREDER

Πληθώρα σειρών φωτιστικών σωμάτων: FV, LV, NTL, ST, FR σε διάφορα μεγέθη

FV3/FV4

Χαρακτηριστικά

- Δυνατότητα τοποθέτησης έως 2x400W λαμπτήρων υψηλής πίεσης νατρίου σε κάθε φωτιστικό σώμα ή 3x58W λαμπτήρων φθορισμού ή 2x131W LPS.
- Συμμετρικός και Ασύμμετρος φωτισμός.
- Προστασία IP65.
- Δυνατότητα ανοίγματος για επιδιόρθωση από μπροστά ή από την πλαϊνή όψη.

9.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ- ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Η εγκατάσταση φωτισμού μιας σήραγγας επιβάλλεται να λειτουργεί χρησιμοποιώντας κατάλληλα επίπεδα φωτισμού (stages) που είναι άμεσα συνδεδεμένα με τα επίπεδα του φωτός που επικρατούν έξω από σήραγγα στη ζώνη προσέγγισης. Στόχος της εφαρμογής αυτής των επιπέδων λαμπρότητας είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση των συνθηκών φωτισμού που επικρατούν εξωτερικά της σήραγγας ώστε να γίνει ασφαλής προσέγγιση και διάσχιση της σήραγγας (πρόβλημα οπτικής προσαρμογής) όσο και η οικονομική λειτουργία της εγκατάστασης με την επίτευξη του κατάλληλου επιπέδου λαμπρότητας σε σχέση με τις εξωτερικές συνθήκες φωτός. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος είναι απαραίτητα τα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου μιας φωτιστικής εγκατάστασης.

α) Μετρητές - αισθητήρες φωτιστικών μεγεθών.

Στην συγκεκριμένη κατηγορία μετρητών ανήκουν κατά κύριο λόγο οι μετρητές λαμπρότητας (luminance) και φωτεινότητας (illuminance). Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται για τον συνεχή υπολογισμό της λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης L_{20}. Συνήθως διαθέτουν σταθερό οπτικό πεδίο μέτρησης που καλύπτει μια στερεά γωνία 20^0. Οι δεύτεροι επιτρέπουν συνεχή μέτρηση των επιπέδων φωτεινότητας (Lux) στο εσωτερικό της σήραγγας σε επιλεγμένα σημεία. Οι μετρητές αυτοί συνδυάζονται μεταξύ τους με στόχο αρχικά τον καθορισμό και την επιβολή του επιπέδου λαμπρότητας στο εσωτερικό της σήραγγας και στη συνέχεια την σύγκριση και την διόρθωση της τιμής αυτής δημιουργώντας έτσι ένα **δυναμικό σύστημα ελέγχου** που παρακολουθεί και προσαρμόζει συνεχώς το φωτισμό μιας σήραγγας.

β) Σύστημα αυξομείωσης φωτισμού (Dimming).

Το σύστημα αυτό μειώνει το φωτισμό με στόχο την μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό επιπέδων φωτισμού, την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση του φορτίου αιχμής.

Η εφαρμογή της τεχνικής του dimming σε λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής πίεσης (HID) είναι δυνατό να επιτευχθεί με δύο υπάρχοντα συστήματα το σύστημα δύο επιπέδων και το συνεχές σύστημα:

- Το σύστημα dimming δύο επιπέδων είναι απλούστερο, φθηνότερο και χρησιμοποιεί

ένα ballast σταθερής ισχύος (constant-wattage autotransformer ballast).
- Το συνεχές σύστημα dimming χρησιμοποιεί τρόπους μείωσης της τάσης τροφοδοσίας (με μετασχηματιστή μεταβλητής τάσης), του ρεύματος τροφοδοσίας (με μεταβλητό φορτίο) ή με έλεγχο τόσο της τάσης όσο και του ρεύματος (με ημιαγωγικά στοιχεία) και την επίτευξη μείωσης μέχρι το 60%, το 30% ή το 50% της ονομαστικής ισχύος της λάμπας αντίστοιχα.

Ορισμένα από αυτά τα συστήματα απαιτούν την χρήση ειδικών dimmable ballast ενώ άλλα όχι. Προς το παρόν πάντως χρησιμοποιούνται μόνο μαγνητικά ballast για λαμπτήρες HID.

Σημειώνουμε ότι μείωση μέχρι και το 50% δεν επηρεάζει την φωτιστική απόδοση, την χρωματική απόδοση και την διάρκεια ζωής της λάμπας.

γ) Ρυθμιστές - Μειωτές κατανάλωσης ισχύος.

Οι μειωτές κατανάλωσης ισχύος είναι συσκευές ειδικά σχεδιασμένες για εξοικονόμηση ενέργειας σε κυκλώματα φωτισμού. Αυτοί οι μειωτές κατανάλωσης, οι οποίοι ονομάζονται και ελεγκτές φωτισμού, τοποθετούνται σε πίνακες ανάμεσα στο διακοπτικό στοιχείο και στο φορτίο με σκοπό την μείωση της ενεργού ισχύος του φωτιστικού κυκλώματος. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές οι μειωτές κατανάλωσης ισχύος εξοικονομούν ενέργεια δίχως να επηρεάζουν την απόδοση των φωτιστικών σωμάτων και συνήθως οι κατάλογοί τους περιέχουν πολλές εκθέσεις επιτυχημένων εφαρμογών. Ωστόσο θα πρέπει να αναφερθεί ότι ελάχιστες ανεξάρτητες δοκιμές έχουν γίνει που να αποδεικνύουν ότι μειώνοντας το φορτίο φωτισμού δεν μειώνεται η ισχύς φωτισμού και η απόδοση του συστήματος.

δ) Πρωτόκολλο DALI (Digital Addressable Lighting Interface).

Με το συγκεκριμένο πρωτόκολλο οι κατασκευαστές ballasts εισάγουν τα πλεονεκτήματα μίας νέας βιομηχανικής τυποποίησης στον έλεγχο συστημάτων φωτισμού. Αναπτύχθηκε ειδικά για τον βέλτιστο έλεγχο φωτισμού. Το πρωτόκολλο DALI, βασισμένο σε μία προμελέτη IEC 929, υιοθετήθηκε σαν μία τυποποίηση από την πλειοψηφία των κατασκευαστών ballasts. Σαν μία εξειδικευμένη εφαρμογή της διασύνδεσης επικοινωνίας για τον έλεγχο συστημάτων φωτισμού, το DALI καθιστά δυνατό τον πολύπλοκο έλεγχο φωτισμού ενώ ταυτόχρονα προσφέρει αυξημένη ευελιξία και μειωμένο κόστος εγκατάστασης.

Το κλειδί της λειτουργίας των ballasts DALI είναι ο συνδυασμός της μεταγωγής και του dimming των ballasts με την διευθυνσιοδότηση αυτών διαμέσου ενός καλωδίου ελέγχου. Αυτό επιτρέπει τον ανεξάρτητο έλεγχο διαφορετικών φωτιστικών ενός κυκλώματος ελέγχου καθώς και την αναπροσαρμογή της εγκατάστασης δίχως την πολυέξοδη αλλαγή καλωδίων.

Η μεταγωγή μέσω της γραμμής ελέγχου σημαίνει ότι τα φωτιστικά μπορούν να ανάψουν δίχως την μεταγωγή της κύριας γραμμής ισχύος. Μέχρι 64 ballasts ενωμένα με το ίδιο καλώδιο ελέγχου μπορούν να διευθυνσιοδοτηθούν ανεξάρτητα. Επίσης, παρέχεται ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία ελέγχου καθώς τα διευθυνσιοδοτημένα ballasts μπορούν να ομαδοποιηθούν και να ελεγχθούν σε 16 ομάδες ελεύθερης εκλογής τη στιγμή που το ίδιο ballast μπορεί να ανήκει σε περισσότερα της μίας ομάδας.

ε) Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου σήραγγας.

Τα συστήματα αυτά έχουν ως κύριο στόχο τους τον έλεγχο της εγκατάστασης φωτισμού μιας σήραγγας. Συγκεκριμένα για τον φωτισμό δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας επιπέδων φωτισμού, πλήρους ελέγχου της κατάστασης του

συστήματος (on/off, σφάλματα λαμπτήρων, ώρες λειτουργίας κλπ.) και ανεξάρτητου ελέγχου διαφορετικών φωτιστικών ενός κυκλώματος. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα συστήματα αυτά γενικότερα είναι δυνατό να ενσωματώνουν και τον έλεγχο άλλων δευτερευόντων συστημάτων όπως ο αερισμός, παρακολούθηση κυκλοφορίας, πυρανίχνευση κλπ.
Κατόπιν θα δούμε εταιρείες που ειδικεύονται στο αντικείμενο.

MAYER INTERNATIONAL LTD

Εταιρία κατασκευής Μετρητικών συστημάτων φωτισμού σηράγγων. Περιλαμβάνει:

Φωτόμετρα λαμπρότητας (TS -100)
Συνεχή μέτρηση της λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης L_{20} με δυνατότητα τηλεχειρισμού. Διατίθενται και συστήματα πλύσης των φωτόμετρων αυτών.

Αισθητήρες φωτεινότητας (illuminance TS -150)
Συνεχή μέτρηση των επιπέδων φωτεινότητας (lux) μέσα στη ζώνη κατωφλίου. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το φωτόμετρο λαμπρότητας για συνεχή μέτρηση, σύγκριση και διόρθωση των επιπέδων φωτισμού της σήραγγας.

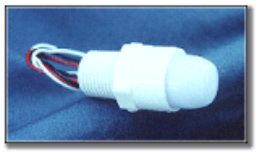
Ελεγκτές (Controller model 800)
Δυνατότητα ρύθμισης 8 διαφορετικών επιπέδων φωτισμού (stages) δίνει τη δυνατότητα επίτευξης και ελέγχου των κατάλληλων επιπέδων φωτισμού στο εσωτερικό κάθε σήραγγας ανάλογα με τις μετρήσεις της λαμπρότητας L_{20}.

Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου της σήραγγας
Πλήρες σύστημα ελέγχου. Πρόκειται για πακέτο λογισμικού που επιτρέπει την ενοποίηση και έλεγχο όλων των σχετικών συστημάτων μιας σήραγγας. Το συνολικό πακέτο περιλαμβάνει ελεγκτές και υποσυστήματα SCADA.

DAY LIGHT CONTROL

Το σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού (Day Light Control) επιτρέπει στο χρήστη για να ελέγξει το φωτισμό με βάση το διαθέσιμο φυσικό φως του περιβάλλοντος. Με την προσθήκη του προαιρετικού χρονοδιακόπτη, το σύστημα DLC ανοίγει/κλείνει από τα κυκλώματα φωτισμού για να διατηρήσει σταθερά τα επίπεδα φωτισμού για τους συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, τις συγκεκριμένες ημέρες της εβδομάδας.

Ο προγραμματισμός αυτός βέβαια προαπαιτεί να υπάρχει ανάδραση στο σύστημα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός μετρητή λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης L_{20} αλλά και αισθητήρων λαμπρότητας ή ισχύος φωτισμού οι έξοδοι των οποίων θα οδηγούνται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου που θα κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις

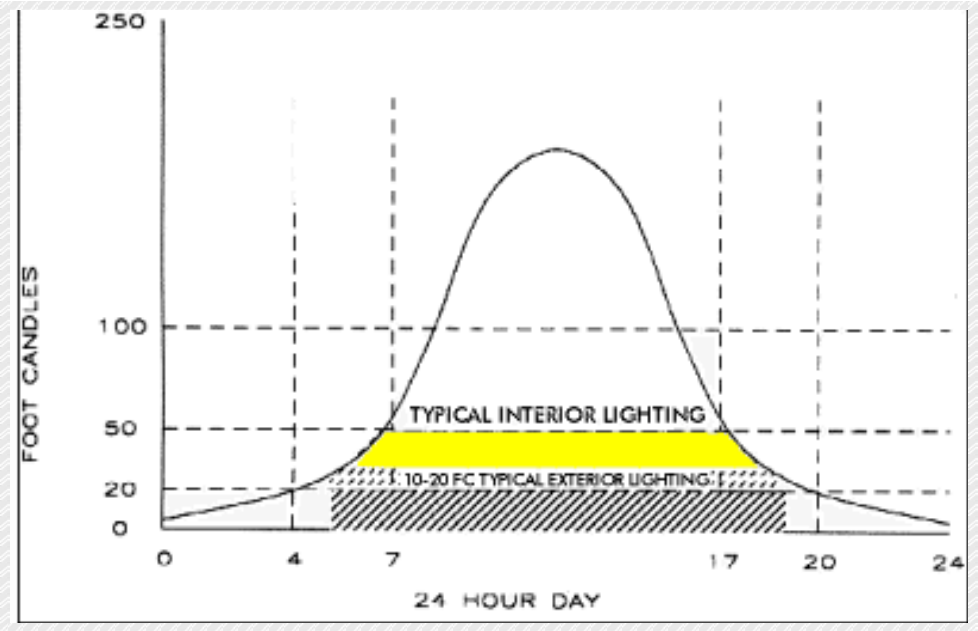


Φωτοαισθητήρας

Το σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού (DLC) είναι βαθμολογημένο πάνω στο πίνακα ελέγχου και μας παρέχει ενδείξεις στην οθόνη υγρού κρυστάλλου (LCD) για τη διαμόρφωση εισαγωγής και παραγωγής. Οι φωτοαισθητήρες μας δίνουν κάθε

στιγμή την ένταση φωτισμού που επικρατεί στα διάφορα επίπεδα της σήραγγας και διαβάζονται στο πίνακα ελέγχου.

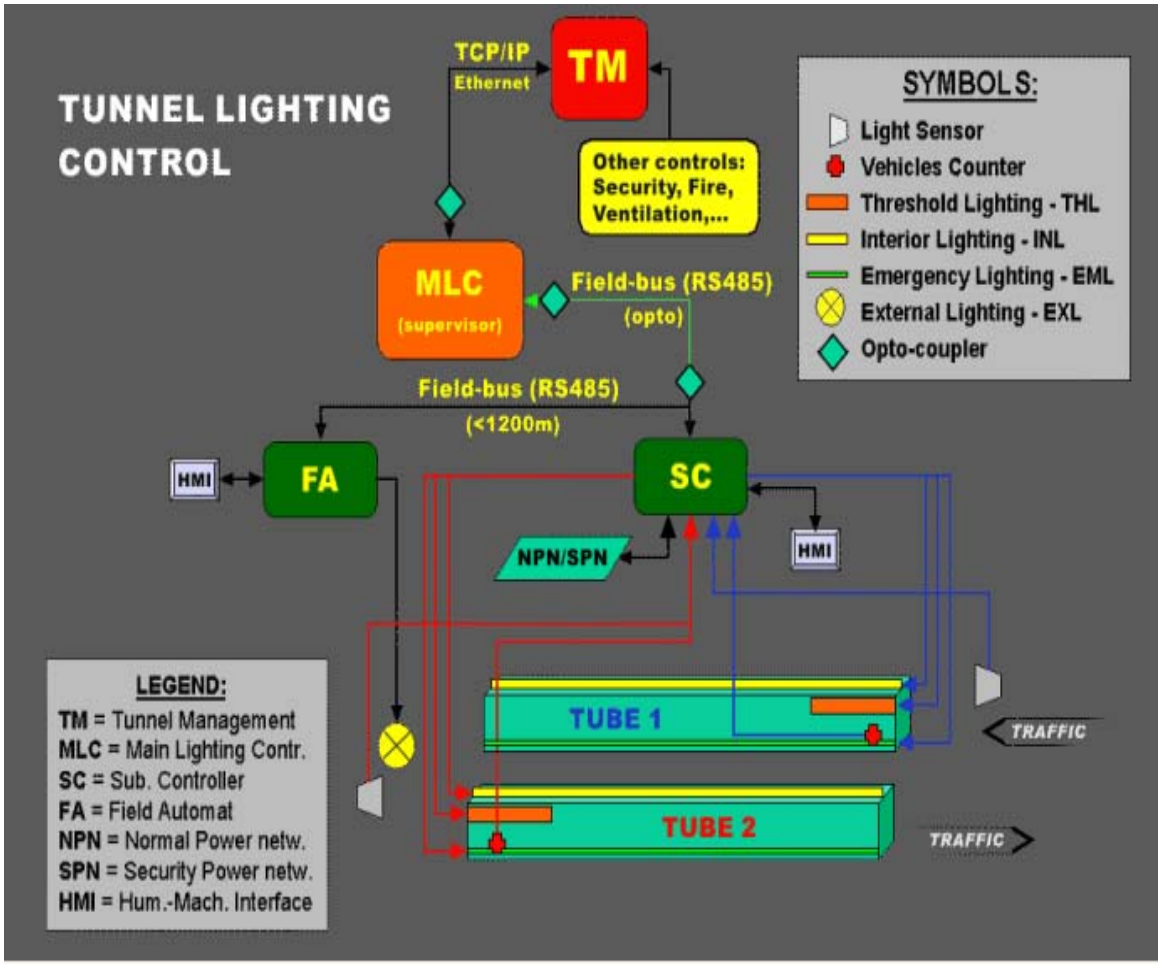
Έτσι το σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού (DLC) μπορεί να εξοικονομήσει πολύτιμη ηλεκτρική ενέργεια σε ένα τόσο ενεργοβόρο σύστημα όπως αυτό των σηράγγων, με το να ελέγχει και να μειώνει την ποσότητα του τεχνητού ηλεκτρικού φωτός όταν εισάγεται αρκετή ποσότητα φυσικού φωτός στη σήραγγα.



Σχήμα 1: **Ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί όταν υπάρχει αρκετός φυσικός φωτισμός στη σήραγγα.**

Όπως δείχνει το **Σχήμα 1** μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια που φτάνει το 30% της ηλεκτρικής ενέργειας. Όλη αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται με τα συστήματα προγραμματισμένου ελέγχου λογικής (PLC), όπου όλη αυτή η διεργασία μπορεί να γίνει αυτόματα και η εποπτεία της όλης διαδικασίας να πραγματοποιηθεί μέσω ενός υποσυστήματος. Φυσικά, ο εξαερισμός, η σηματοδότηση, το βίντεο και άλλοι έλεγχοι είναι ενσωματωμένοι σε αυτό το σύστημα για να συντονίσουν τα διάφορα τμήματα σηράγγων. Πρέπει ακόμα να είναι δυνατό να γίνουν οι χειρωνακτικές αλλαγές οποιαδήποτε στιγμή, και στις εξαιρετικές περιστάσεις, να ληφθούν και να εφαρμοστούν οι αποφάσεις όσο το δυνατόν γρηγορότερα.

Το σύστημα αυτό και τα στάδια του είναι εμφανή στο **Σχήμα 2.**



Σχήμα 2: **Σύστημα προγραμματισμένου ελέγχου λογικής (PLC)**

IP CODES

Degrees of Protection Provided by Enclosures

First Characteristic Numeral	DEGREE OF PROTECTION (First Number in Code)	
	Brief Description	**Definition**
0	Not Protected	-
1	Protected against solid foreign objects of 50mm diameter and greater.	The object probe, sphere of 50mm diameter, shall not fully penetrate
2	Protected against solid foreign objects of 12.5mm diameter and greater.	The object probe, sphere of 12.5mm diameter, shall not fully penetrate
3	Protected against solid foreign objects of 2.5mm diameter and greater.	The object probe, sphere of 2.5mm diameter, shall not penetrate at all.
4	Protected against solid foreign objects of 1mm diameter and greater.	The object probe, sphere of 1mm diameter, shall not penetrate at all.

5	Dust-protected	Ingress of dust is not totally prevented, but dust shall not penetrate in a quantity to interfere with satisfactory operation of the apparatus or to impair safety.
6	Dust-tight	No ingress of dust.
[1] The full diameter of the object shall not pass through an opening of the enclosure		

Second Characteristic Numeral	DEGREE OF PROTECTION (Second Number in Code)	
	Brief Description	**Definition**
0	Not Protected	-
1	Protected against vertically falling water drops.	Vertically falling drops shall have no harmful effects.
2	Protected against vertically falling water drops when enclosure is titled up to 15°.	Vertically falling drops have no harmful effects when the enclosure is tilted at any angle up to 15° on either side of the vertical.
3	Protected against spraying water.	Water sprayed at an angle up to 60° degrees on either side of the vertical shall have no harmful effects.
4	Protected against splashing water.	Water splashed against the enclosure from any direction shall have no harmful effects.
5	Protected against water jets.	Water projected in jets against the enclosure from any direction shall have no harmful effects.
6	Protected against powerful water jets.	Water projected in powerful jets against the enclosure from any direction shall have no harmful effects.
7	Protected against the effects of temporary immersion in water.	Ingress of water in quantities causing harmful effects shall not be possible when the enclosure is temporarily immersed 1 meter in water under standardized conditions of pressure and time.
8	Protected against the effects of continuous immersion in water.	Ingress of water in quantities causing harmful effects shall not be possible when the enclosure is continuously immersed in water under conditions which shall be agreed between manufacturer and the user, but are more severe than for number 7

Degree of Protection Against the Following Environmental Conditions	**NEMA Type of Enclosure**					
	1	**2**	**4**	**4X**	**12**	**13**
Incidental contact with the enclosed equipment						
Falling dirt						
Falling liquids and light splashing	.					
Circulating dust, lint, fibers, and flyings	.	.				
Settling airborne dust, lint, fibers, and flyings	.	.				
Hosedown and splashing water	.	.			.	.
Oil and coolant seepage	.	.			.	.
Corrosive Agents	.	.	.		.	.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΓΕΝΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

10.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ - ΟΣΜΕΟ

Στη χώρα μας αυτή τη στιγμή βρίσκονται στο στάδιο της υλοποίησης μεγάλα έργα υποδομής στον τομέα των χερσαίων, θαλάσσιων και εναέριων μεταφορών, καθώς και στον ενεργειακό και τηλεπικοινωνιακό τομέα. Το γεγονός καθίσταται ένα από τα πλέον ενδιαφέροντα τεχνικά δρώμενα της Ελλάδας είναι το πλήθος των τεχνικών έργων που περιλαμβάνονται κατά μήκος του άξονά της. Τα περισσότερα από τα μεγάλα έργα του υπόψη στρατηγικού σχεδιασμού έχουν αρχίσει να κατασκευάζονται με χρονικό ορίζοντα το έτος 2000 και για ορισμένα τις αρχές του 21ου αιώνα.

Ένα από τα μεγαλύτερα έργα που βρίσκεται σε εξέλιξη είναι η κατασκευή σηράγγων. Στην Εγνατία Οδό το 7% του οδικού δικτύου της καταλαμβάνεται από σήραγγες, ενώ το 30% του συνολικού κόστους της δαπανάται για τη κατασκευή τους. Στην Αττική Οδό κατασκευάζονται 63 σήραγγες συνολικού μήκους 16 χλμ. Όμοια η Ευρεία Παράκαμψη της Πάτρας περιέχει 12 σήραγγες συνολικού μήκους 5 χλμ.

Πάνω από 70 σήραγγες στον Ελλαδικό χώρο πρόκειται να δοθούν σε κυκλοφορία στο άμεσο μέλλον. Από αυτές τουλάχιστον 50 είναι μεγαλύτερες από 500 μ. Πρόκειται για ένα μεγάλο πρόγραμμα κατασκευής σηράγγων που θα διασχίσει τη χώρα μας. Σημειώνουμε ότι για πρώτη φορά θα έχουμε σήραγγες μεγάλου μήκους.

Τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, η δημιουργία σηράγγων στο οδικό δίκτυο είναι μέγεθος αυξανόμενο τόσο σε πλήθος (αριθμός σηράγγων) όσο και σε μήκος. Στη Κίνα για παράδειγμα βρίσκεται υπό κατασκευή η δεύτερη μεγαλύτερη σε μήκος σήραγγα, ενώ στη Ταϊβάν και στην Ιαπωνία κατασκευάζονται αξιόλογου μήκους σήραγγες.

Είναι σαφές λοιπόν, ότι οι μηχανικοί τόσο σε εθνικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο πρέπει να λάβουν σοβαρά τους παράγοντες **ασφάλεια** και **οικονομία**. Ειδικά στην Ελλάδα καθίσταται αναγκαία η χρήση ενός πιο σαφή και συγκεκριμένου οδηγού για το φωτισμό σηράγγων.

Όπως ήδη αναφέραμε σε διεθνή επίπεδο από το 1940 οκτώ σοβαρά ατυχήματα έχουν αναφερθεί σε σήραγγες. Για την Ελλάδα δεν έχουμε κάποια συγκεκριμένη αναφορά, ίσως γιατί η εμπειρία της σήραγγας είναι σχετικά καινούρια για την Ελλάδα. Λαμβάνοντας υπόψη όμως το πλήθος και το μέγεθος των σηράγγων αντιλαμβανόμαστε πόσο σημαντικό είναι για τις σήραγγες να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ασφάλεια και εξοικονόμηση ενέργειας.

Είναι σαφές πως το πόσο οικονομική είναι η εγκατάσταση φωτισμού μίας σήραγγας εξαρτάται από δύο βασικούς, παράγοντες, το κόστος εγκατάστασης και την κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία της σήραγγας. Το κόστος εγκατάστασης μπορεί να υπολογισθεί σχετικά εύκολα αν κανείς λάβει υπόψη το κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται, όπως είναι τα φωτιστικά σώματα, τα καλώδια και το σύστημα ελέγχου. Στον υπολογισμό της κατανάλωσης η λειτουργία

του συστήματος και κατά συνέπεια και η στιγμιαία ισχύς του, εξαρτάται άμεσα από τα επίπεδα λαμπρότητας στο εξωτερικό της σήραγγας.

Ποικίλες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό σηράγγων.

Μία μέθοδος είναι η κατάλληλη χρήση του **συστήματος Αυξομείωσης Φωτισμού** (Dimming), που μειώνει το φωτισμό μιας εγκατάστασης με στόχο την μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό επιπέδων φωτισμού και την εξοικονόμηση ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη και το φυσικό φωτισμό που εισέρχεται στη σήραγγα.

Επίσης η χρήση ενός **συστήματος διευθυνσιοδοτούμενων φωτιστικών** σωμάτων μπορεί να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας. Το συγκεκριμένο σύστημα διαθέτει μια κεντρική μονάδα ελέγχου που έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί και να δίνει εντολές σε κάθε ένα φωτιστικό ξεχωριστά. Έτσι μπορεί να τροφοδοτήσει μια σειρά φωτιστικών για συγκεκριμένες ώρες, ημέρες και εποχή ανάλογα με τις ανάγκες και απαιτήσεις που υπάρχουν.

Το **Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου σήραγγας** έχει ως κύριο στόχο του τον δυναμικό έλεγχο της εγκατάστασης φωτισμού μιας σήραγγας και μπορεί να επιτύχει καλή ποσότητα εξοικονόμησης ενέργειας. Συγκεκριμένα για τον φωτισμό δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας επιπέδων φωτισμού, πλήρους ελέγχου της κατάστασης του συστήματος (on/off, σφάλματα λαμπτήρων, ώρες λειτουργίας κλπ.) και ανεξάρτητου ελέγχου διαφορετικών φωτιστικών ενός κυκλώματος προσαρμογή στις εκάστοτε καιρικές συνθήκες και σε παροδικά καιρικά φαινόμενα.

Είναι πολύ σημαντικό όμως να αναπτύξουμε μεθόδους εξοικονόμησης κάνοντας **χρήση του φυσικού φωτισμού** που είναι άφθονο, οικονομικό και σε υψηλές συχνότητες στη χώρα μας. Κάνοντας χρήση τέτοιων μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας με φυσικό φωτισμό σε συνδυασμό αυτών των μεθόδων που αναφέραμε προηγουμένως μπορούμε να επιτύχουμε τον βέλτιστο σχεδιασμό για τη λειτουργική εγκατάσταση της σήραγγας.

Ο ηλιακός φυσικός φωτισμός αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο για τους μηχανικούς φωτισμού. Ο φυσικός φωτισμός αλλάζει συνεχώς την έντασή του και το χρώμα του, από την αυγή ως τη δύση, από μέρα σε μέρα, από εποχή σε εποχή και μπορεί να γίνει ένα πανίσχυρο εργαλείο για τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς. Ο φυσικός φωτισμός θεωρείται σήμερα σωστά ή λάθος μια εναλλακτική τεχνολογία. Η ποιότητα ωστόσο του φυσικού φωτισμού ως φωτιστικού είναι ένας σημαντικός λόγος για τη χρήση του. Ο Φυσικός φωτισμός είναι η μοναδική φωτεινή πηγή που ταιριάζει περισσότερο στη ανθρώπινη οπτική αντίδραση και προσδίδει μια αίσθηση ευρυχωρίας.

Έχει διαπιστωθεί ότι η Ελλάδα έχει πολύ υψηλή συχνότητα ηλιοφάνειας, φτάνοντας το ποσοστό 77%, ένα από τα υψηλότερα ποσοστά στην Ευρώπη. Έτσι είναι χρήσιμο για τους μηχανικούς να γνωρίζουν πώς να χρησιμοποιήσουν ένα τόσο δυνατό εργαλείο όσο ο φυσικός ηλιακός φωτισμός.

Αυτό ακριβώς επιτυγχάνει το **σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού** (DLC) το οποίο μπορεί να εξοικονομήσει πολύτιμη ηλεκτρική ενέργεια σε ένα τόσο ενεργοβόρο σύστημα όπως αυτό των σηράγγων, με το να ελέγχει και να μειώνει την ποσότητα του τεχνητού ηλεκτρικού φωτός όταν εισάγεται αρκετή ποσότητα φυσικού φωτός στη σήραγγα. Επιτρέπει στο χρήστη να ελέγξει το φωτισμό με βάση το διαθέσιμο φυσικό φως του περιβάλλοντος. Ο προγραμματισμός αυτός βέβαια προαπαιτεί να υπάρχει ανάδραση στο σύστημα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός μετρητή λαμπρότητας της ζώνης προσέγγισης L_{20} αλλά και αισθητήρων

λαμπρότητας ή ισχύος φωτισμού οι έξοδοι των οποίων θα οδηγούνται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου που θα κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις.

Ωστόσο ο φωτισμός σήραγγας με χρήση φυσικού φωτισμού είναι κάτι τελείως διαφορετικό από τα περισσότερα προγράμματα και σχεδιαστικές μεθοδολογίες που ακολουθούνται μέχρι σήμερα για το φωτισμό σηράγγων. Δεν υπάρχει εκτεταμένη έρευνα, ούτε κάποιες μεθοδολογίες ή αλγόριθμοι που μπορεί κάποιος να ακολουθήσει για τη χρήση του στο μέγιστο βαθμό που μας παρέχει ασφάλεια και οικονομία. Ίσως η χρήση του ως εναλλακτική τεχνολογία ή η άποψη ότι πρόκειται για αντιοικονομικό ή καταναλωτικό παράγοντα, καθώς έντονο ηλιακό φως απαιτεί πιο υψηλές στάθμες φωτισμού στην είσοδο της σήραγγας έχουν παραγκωνίσει το ρόλο του φυσικού φωτισμού στο φωτισμό της σήραγγας. Είναι επιτακτικό να διεξαχθούν έρευνες για χρήση του φυσικού φωτισμού στις σήραγγες καθώς και να αναπτυχθούν αλγόριθμοι και κατάλληλα λογισμικά που να υποδεικνύουν τη χρήση του, ώστε να έχουμε στροφή των μελετητών και σχεδιαστών φωτισμού στη χρήση φυσικού περιβαλλοντικού φωτισμού.

Επίσης κατά το σχεδιασμό του φωτισμού λαμβάνονται υπόψη η μεταβολή της απαιτούμενης λαμπρότητας L_{th} κατά την διάρκεια της ημέρας και της εποχής και με χρήση των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας που αναφέραμε προηγουμένως μπορούμε να κάνουμε τις κατάλληλες προσαρμογές για το καλοκαίρι το χειμώνα και την άνοιξη-φθινόπωρο λαμβάνοντας υπόψη τις μέγιστες τιμές λαμπρότητας και τη διάρκεια του νυχτερινού φωτισμού.

Είναι εμφανές λοιπόν ότι τα ευέλικτα και έξυπνα συστήματα ελέγχου φωτισμού σηράγγων είναι ικανά να εξοικονομήσουν υψηλά ποσοστά ενέργειας και να προσαρμοστούν στις εκάστοτε συνθήκες και ανάγκες.

Επίσης κατά τη φάση του σχεδιασμού του φωτισμού χρησιμοποιείται ένας γενικός συντελεστής συντήρησης ίσος με 0.7 κατά την διάρκεια σύσκεψης όμως, η οποία πραγματοποιήθηκε με την συμμετοχή εκπροσώπων της Εγνατίας Οδού Α.Ε. και μελών του Βρετανικού Οργανισμού Διαχείρισης Σηράγγων αναφέρθηκε ότι στην Μεγάλη Βρετανία γίνεται προσπάθεια να διατηρείται ο συντελεστής συντήρησης της εγκατάστασης φωτισμού στο 0.8-0.85. Η διατήρηση του συντελεστή σε αυτά τα επίπεδα αναφέρθηκε ότι παρουσιάζει εντυπωσιακά αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας. Η υιοθέτηση λοιπόν ενός μεγαλύτερου γενικού συντελεστή συντήρησης 0.85 κατά τη φάση του σχεδιασμού οδηγεί σε μείωση του κόστους εγκατάστασης και σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία της σήραγγας, αυξάνοντας όμως το κόστος συντήρησης. Η παράλληλη μελέτη του κόστους εγκατάστασης και της εξοικονόμησης ενέργειας με το κόστος συντήρησης οδηγεί στο να βρεθεί η πλέον συμφέρουσα λύση.

Οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις όλου του εθνικού οδικού δικτύου βασίζονται στις οδηγίες του ΟΣΜΕΟ(Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Έργων Οδοποιίας). Αναλυτικότερα στις συστάσεις του ΟΣΜΕΟ για τη μελέτη φωτισμού σηράγγων αναφέρονται όλοι οι κανονισμοί και τα πρότυπα σύμφωνα με τα οποία πρέπει να πραγματοποιείται η μελέτη για την εγκατάσταση φωτισμού των σηράγγων και των οδών προσέγγισης. Οι κανονισμοί που αναφέρονται είναι οι εξής: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC), Υπουργείο Μεταφορών Γερμανίας (RABT), Γερμανικοί Ηλεκτρικοί Κανονισμοί (VDE), Διεθνής Επιτροπή για τον Φωτισμό (CIE), Τεχνική Έκθεση CEN/TC 169/WG 6 για τον φωτισμό σηράγγων και Μόνιμη Διεθνής Οργάνωση Συνεδρίων Οδοποιίας

(PIARC).
Καθορίζεται *ο* συντελεστής συντήρησης ίσος με 0.7.
Προτείνεται η λαμπρότητα φωτισμού των τοιχωμάτων των σηράγγων μέχρι ύψους 2m να μην είναι μικρότερη από τη λαμπρότητα του οδοστρώματος σε όλες τις βαθμίδες φωτισμού (κατά CIE).
Καθορίζεται ότι η συνολική ομοιομορφία φωτισμού κατά μήκος της σήραγγας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.4 και η κατά μήκος ομοιομορφία σε κάθε λωρίδα να είναι μεγαλύτερη από 0.6 (κατά CIE).
Αναφέρεται ότι πρέπει να ληφθεί υπόψη η αποφυγή του φαινομένου της φωτεινής πάλμωσης ή λαμπυρισμού (flickering) σύμφωνα με τις συστάσεις CEN.

Τα παραπάνω σημεία του ΟΣΜΕΟ είναι τα μόνα για τα οποία γίνονται συγκεκριμένες αναφορές σε τιμές μεγεθών που πρέπει να ληφθούν υπόψη από τον μελετητή. Το υπόλοιπο τμήμα του ΟΣΜΕΟ κρίνεται πολύ γενικό και περιορίζεται σε αναφορές των σημείων που πρέπει να εξεταστούν από τον μελετητή. Δεν παρουσιάζεται πρόταση χρήσης ενός συγκεκριμένου κανονισμού με βάση τον οποίο προσδιορίζονται όλα τα μεγέθη για μια ολοκληρωμένη φωτοτεχνική μελέτη αλλά δίνονται γενικές οδηγίες διάφορων κανονισμών. Η χρησιμοποίηση πολλών κανονισμών προσφέρει βέβαια μεγάλη ελευθερία κινήσεων και επιλογών στο μελετητή, αλλά παράλληλα οδηγεί και σε μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των μελετών. Για τους παραπάνω λόγους κρίνεται σκόπιμο ο ΟΣΜΕΟ να είναι περισσότερο συγκεκριμένος και να επιλεγεί ένας μόνο κανονισμός που θα ακολουθείται και με βάση αυτόν να γίνονται όλες οι μελέτες στο εξής. Ο κανονισμός αυτός θα πρέπει να ικανοποιεί εκτός από το κριτήριο της οικονομίας στην κατανάλωση και αυτό της ασφάλειας των χρηστών.

Προτείνεται για τον ΟΣΜΕΟ να υιοθετηθούν τα πρότυπα CIE 88-1990, με κάποιες μικρές διαφοροποιήσεις με βάση τα εθνικά δεδομένα που αφορούν την ασφάλεια και την οικονομία ενέργειας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Πέπλο λαμπρότητας στην είσοδο της σήραγγας

Στην είσοδο των σηράγγων η παρουσία μιας ομίχλης λόγω των εκπομπών καυσαερίων από τα οχήματα μπορεί να προκαλέσει ένα επιπλέον οπτικό πρόβλημα, ειδικότερα όταν δεν υπάρχει ανοιχτή δικτυωτή κατασκευή (περσίδες) για την κάλυψη από το φως της ημέρας, δια μέσου της οποίας τα καυσαέρια μπορούν να διαφύγουν. Όταν η ομίχλη αυτή φωτίζεται από τον ήλιο μπορεί να γίνει εξαιρετικά λαμπρή με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να δει κανείς μέσα από αυτή.

Έστω L_1 το επίπεδο εξωτερικού φωτισμού, L_2 η λαμπρότητα του αμέσου φόντου του κρίσιμου αντικειμένου και L_3 η λαμπρότητα του ίδιου του αντικειμένου. Η αντίθεση του αντικειμένου σε σχέση με το φόντο του έχει προσδιοριστεί ως :

$C = (L_2 - L_3) / L_2$. Το πέπλο λαμπρότητας L_v μεταξύ του αντικειμένου και του παρατηρητή αυξάνει το φωτισμό του αντικειμένου σε $L_3' = L_3 + L_v$, και αυτού της σήραγγας σε $L_2' = L_2 + L_v$. Η νέα φαινομενική αντίθεση C' μεταξύ της σήραγγας και του αντικειμένου γίνεται:

$$C' = \frac{(L_2' - L_3')}{L_2'} = \frac{[(L_2 + L_V) - (L_3 + L_V)]}{(L_2 + L_V)} = \frac{(L_2 - L_3)}{(L_2 + L_V)}$$ ή

$$C' = C * \frac{L_2}{(L_2 + L_V)} \Rightarrow \frac{C'}{C} = \frac{L_2}{(L_2 + L_V)}$$

Η παρουσία του πέπλου λαμπρότητας επηρεάζει το μάτι με τον ίδιο τρόπο σαν μια πηγή διάχυτου φωτός, η οποία μέσα στο μάτι παράγει ένα υπερθετικό πέπλο φωτισμού πάνω απ' το είδωλο του αμφιβληστροειδούς χιτώνα. Αυτό αλλάζει το φωτισμό του ειδώλου και του φόντου της αντίθεσης. Ο λόγος της φαινομενικής προς την αυθεντική οριακή αντίθεση φαίνονται στην πιο πάνω εξίσωση, και θα είναι πάντοτε λιγότερος από 1, λόγω της παρουσίας του L_v στον παρονομαστή. Αυτό σημαίνει, ότι το αντικείμενο, το οποίο αρχικά ήταν ορατό στο οριακό επίπεδο δεν θα είναι ορατό κάτω από συνθήκες χαμηλότερης αντίθεσης με τον ίδιο φωτισμό φόντου L_2. Για να έχουμε επαναφορά της οπτικής του αντικειμένου στο οριακό επίπεδο, ο φωτισμός του φόντου L_2 πρέπει να αυξηθεί.

Μια άλλη εκδήλωση του πέπλου λαμπρότητας, είναι ότι παράγεται από την ανάκλαση του επάνω μέρους των ταμπλό των αυτοκινήτων δια μέσου του παρμπρίζ αυτών σε μια ηλιόλουστη μέρα. Αυτό εμφανίζεται στον αυτοκινητιστή, που ακολουθεί σαν μια φωτεινή οθόνη μεταξύ του αντικειμένου και του παρατηρητή. Ένα βρώμικο και σκονισμένο παρμπρίζ θα δημιουργεί το ίδιο αποτέλεσμα.

Για να ξεπεραστούν αυτές οι επιδράσεις παρέχεται μια φωτεινότητα χρησιμοποιώντας τεχνητά μέσα, που όμως δεν είναι πρακτικά ούτε οικονομικά.

Υπολογισμός του L_{seq}

Όπως έχει αναφερθεί, οι οδηγίες που δίνονται βασιζόμενες στην ”ιδέα” του L_{20}, είναι προσωρινές και άλλες μέθοδοι βρίσκονται υπό μελέτη. Για να αποκτηθεί μεγαλύτερη εξοικείωση με τη μέθοδο L_{seq}, οι βασικές αρχές δίνονται παρακάτω.

1. Μέθοδος για τον προσδιορισμό του πέπλου λαμπρότητας

Ο υπολογισμός του πέπλου λαμπρότητας βασίζεται στην τροποποιημένη μέθοδο Holladay-Stiles η οποία χρησιμεύει σαν βάση ενός πολικού διαγράμματος που φαίνεται στο **Σχήμα Π1-1**.

$$L_{seq} = 9{,}2 \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{E_{GLi}}{\theta_i^2} (cd/m^2)$$

όπου E_{GLi}: ένταση φωτισμού στο μάτι που παράγεται από την i πηγή θάμβωσης σε lux .

θ_i: η γωνία μεταξύ της γραμμής αναφοράς και της πηγής θάμβωσης i *σε* μοίρες.

Αυτό το πολικό διάγραμμα πρέπει να προσαρμοστεί στην εικόνα της σήραγγας. Το στόμιο της σήραγγας θα πρέπει να τοποθετηθεί στο κέντρο του διαγράμματος το οποίο αναπαριστά το οπτικό πεδίο. Το ύψος του στομίου συνήθως φαίνεται υπό γωνία σχεδόν 2° όταν παρατηρηθεί από απόσταση 130m έως 160m.

Το περιφερειακό πεδίο γύρω από τις 2° υποδιαιρείται *σε* τομείς που θεωρούνται σαν αυτόνομες πηγές θάμβωσης i που παράγουν διάχυτο φως στο μάτι ανάλογο του λόγου E_{GL}/θ^2. Το μέγεθος των τομέων έχει επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε η μέση λαμπρότητα που εμφανίζεται σε αυτούς πάντα να παράγει το ίδιο ποσό διάχυτου φωτός.

Με άθροισμα σε όλα τα τμήματα του οπτικού πεδίου λαμβάνουμε ένα συνολικό ποσό του πέπλου λαμπρότητας το οποίο παράγεται από τις λαμπρότητες στον περιβάλλοντα χώρο της σήραγγας. Η κεντρική περιοχή 2° (γωνιακού μεγέθους) θα πρέπει να συμπίπτει με το στόμιο της σήραγγας και δεν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς του L_{seq}.

Η λαμπρότητα στην κεντρική περιοχή των 2° επηρεάζει, παρόλα αυτά, την οπτική προσαρμογή στην περίπτωση που η έξοδος είναι ορατή (από απόσταση 130m έως 160m) και καλύπτει μέρος της κεντρικής περιοχής των 2°. Τότε η λαμπρότητα εκεί δεν είναι L_{th} αλλά έχει τιμή μεγαλύτερη από αυτή. Αυτό απαιτεί μεγαλύτερες αντιθέσεις *σε* αντικείμενα που πρέπει να είναι ορατά, και κρύβει αντικείμενα μέσα στη σήραγγα εκτός και αν αυτά φαίνονται ως περιγράμματα μπροστά από την λαμπρή έξοδο.

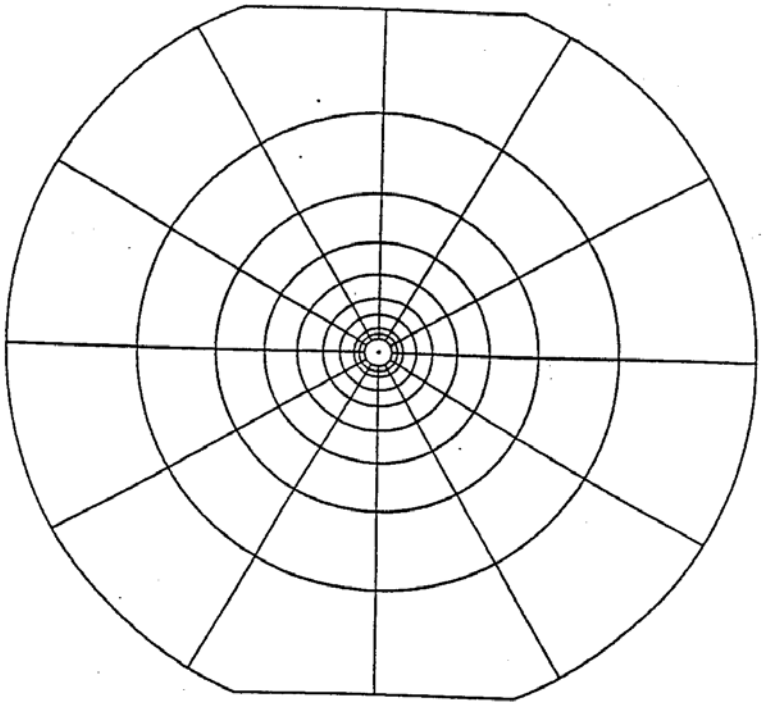
Στο σχήμα Π1-1 φαίνεται ένα πολικό διάγραμμα με τους τομείς του το οποίο θα πρέπει να προσαρμοστεί στην εικόνα της σήραγγας. Οι μέσες λαμπρότητες στα διαφορετικά κομμάτια της σήραγγας πρέπει να προστεθούν. Το συνολικό πέπλο λαμπρότητας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$L_{seq} = 0{,}513 \cdot 10^{-3} \cdot \sum L_i$$

όπου L_i :η μέση λαμπρότητα σε cd/m^2 των τομέων.

Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν οι λαμπρότητες στο χώρο της σήραγγας χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που εμφανίζονται στον **πίνακα Π1-1**.

Η τιμή L_{seq} που εμφανίζεται στην είσοδο μιας σήραγγας μπορεί απευθείας να μετρηθεί με ένα μετρητή λαμπρότητας ο οποίος θα είναι εφοδιασμένος με έναν «φακό» θάμβωσης.



Σχήμα Π1-1: **Πολικό διάγραμμα το οποίο δείχνει τις ζώνες στις οποίες η λαμπρότητα παράγει ίσες ποσότητες διάχυτου φωτός στη κεντρική κυκλική περιοχή. Η κεντρική κυκλική περιοχή αντιπροσωπεύει το πεδίο των δύο μοιρών.**

2. Επίπεδο φωτισμού στη ζώνη κατωφλίου

Η μέση λαμπρότητα οδοστρώματος που απαιτείται στη ζώνη κατωφλίου μπορεί να υπολογιστεί σαν συνάρτηση του πέπλου λαμπρότητας L_{seq} σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_{th} = \frac{L_{seq}}{6 \cdot C - 1} (cd / m^2)$$

όπου C: η φωτομετρική αντίθεση του αντικειμένου το οποίο πρέπει να είναι ορατό και που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τον οπτικό στόχο.

Η σχέση μεταξύ της απαραίτητης λαμπρότητας στη ζώνη κατωφλίου και στο L_{seq} ώστε να διατηρείται η ορατότητα αντικειμένων με διαφορετική αντίθεση φαίνεται στο σχήμα Π2-2. Από αυτό μαθαίνουμε ότι η λαμπρότητα στη ζώνη κατωφλίου πρέπει να αυξάνεται με λαμπρότερο περιβάλλον που οφείλεται σε υψηλότερο L_{seq}

ώστε να διατηρείται ένα αντικείμενο, με δεδομένη αντίθεση, ορατό.

Με τον ίδιο τρόπο το L_{th} μπορεί να υπολογιστεί από πειραματικά αποτελέσματα αντικειμενικών εκτιμήσεων του επιπέδου φωτισμού L_{seq} (SRN τιμές). Ο τύπος γίνεται:

$$L_{th} = 10^{\frac{(SRN-4.1)}{6}} \cdot L_{seq}(cd/m^2)$$

Οι SRN τιμές περιγράφουν μια αντικειμενική εκτίμηση του επιπέδου φωτισμού στη ζώνη κατωφλίου καθώς πλησιάζουμε στη σήραγγα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα Π1-2 σαν διακεκομμένες γραμμές. Τα αντικειμενικά κριτήρια (οπτικό αποτέλεσμα) που συνδέονται με τις SRN τιμές φαίνονται στον **πίνακα Π1-1**.

Πίνακας Π1-1.

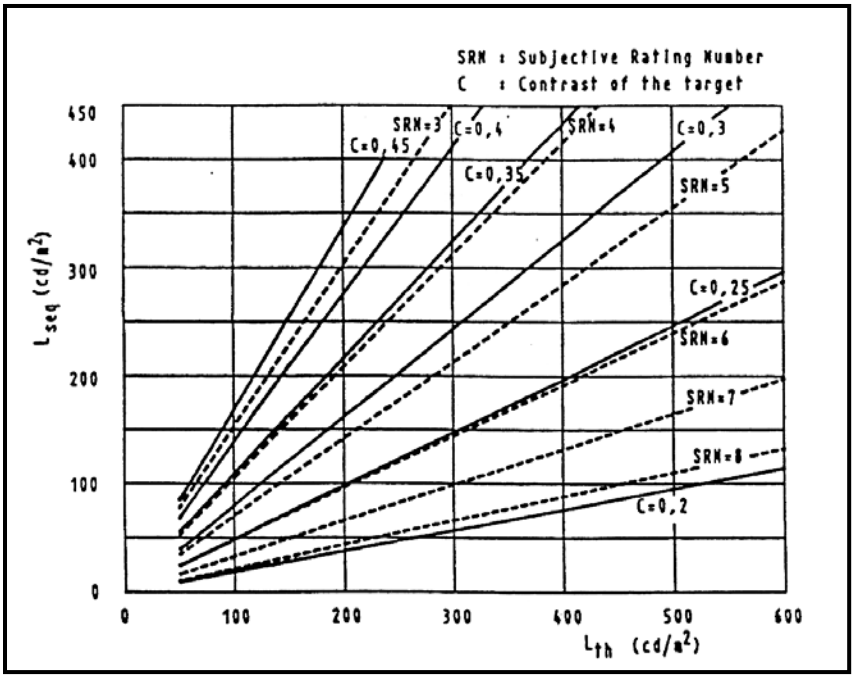
SRN	**Οπτικό Αποτέλεσμα**
9	Εξαιρετικό
7	Καλό, ο οδηγός νιώθει ασφάλεια κατά την είσοδο
5	Μέτριο, επαρκές για ασφαλή είσοδο
3	Μη ικανοποιητικό, η είσοδος φαίνεται πολύ σκούρα
1	Μαύρη τρύπα

Η σχέση μεταξύ ορατότητας των αντικειμένων και της αντικειμενικής εκτίμησης έχει βρεθεί. Σύμφωνα με αυτή το κριτήριο αντίθεσης του αντικειμένου μπορεί να μετατραπεί σε SRN τιμή όπως φαίνεται στο **Σχήμα Π1-3**.

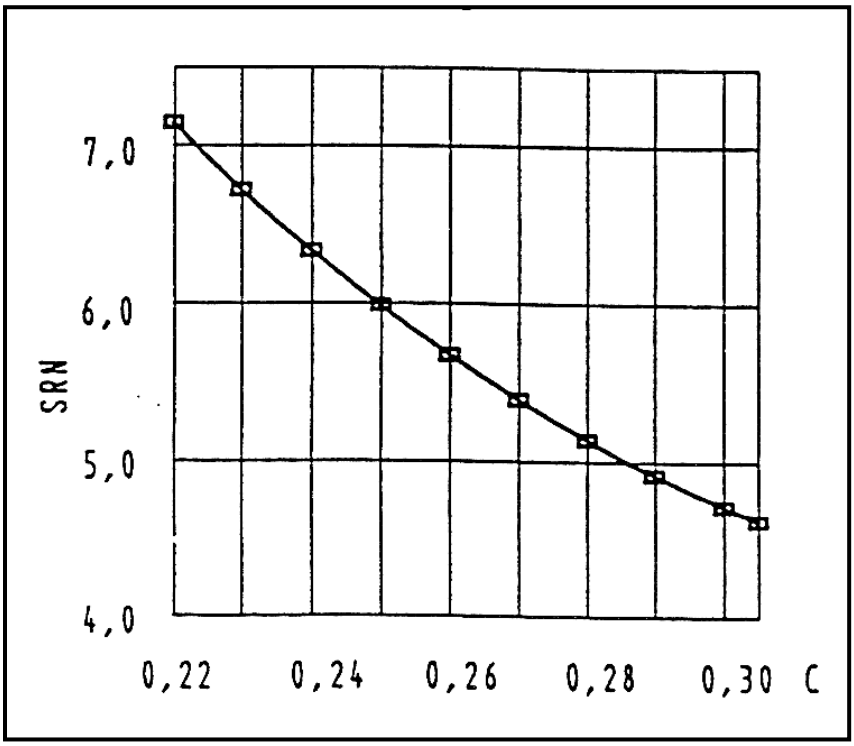
3. Προτεινόμενα επίπεδα L_{th}

Το ελάχιστο επίπεδο L_{th} που προτείνεται, λαμβάνεται αν θέσουμε SRN = 5 στο σχήμα Π1-2. Σ' αυτή την περίπτωση λαμβάνουμε την τιμή L_{th}= 1 ,4•L_{seq} όπου η L_{seq} αποτιμάται από την απόσταση πέδησης.

Οι τιμές που λαμβάνουμε για τα επίπεδα του L_{th} είναι ίδιες ανεξάρτητα από το σύστημα φωτισμού που τις παράγει.



Σχήμα Π1-2 : **Λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου L_{th} (cd/m^2) σε σχέση με το πέπλο λαμπρότητας L_{seq} (cd/m^2).**



Σχήμα Π1-3: **Λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου L_{th} (cd/m^2) σε σχέση με το πέπλο λαμπρότητας L_{seq} (cd/m^2).**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Η ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΟΔΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΣΤΟ ΚΟΣΜΟ -LAERDAL TUNNEL-

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σήραγγα Laerdal αποτελεί ένα επίτευγμα μηχανικής το οποίο ξεπερνάει κάθε προηγούμενο, πρόκειται για τη μεγαλύτερη οδική σήραγγα στο κόσμο - έναν αυτοκινητόδρομο μήκους 24,5 χιλιόμετρα. Αποτελεί σημαντικό μέρος της κύριας σύνδεσης ανάμεσα στις δύο μεγαλύτερες πόλεις της Νορβηγίας, το Όσλο (πρωτεύουσα στα ανατολικά) και το Μπέργκεν (στη δυτική ακτή).

Η κατασκευή κράτησε 5 χρόνια και άνοιξε επίσημα το Νοέμβριο του 2000. Ωστόσο η κατασκευή μιας τόσο μεγάλης σήραγγας αποτελεί πρόκληση.

Τον Οκτώβριο του 2001 μια σύγκρουση φορτηγών στη σήραγγα ST Gotthard στην Ελβετία στοίχισε τη ζωή 11 ανθρώπων. Επίσης το 1999 στη σήραγγα Mont Blanc μεταξύ Γαλλίας-Ιταλίας μια πυρκαγιά σκότωσε 39 άτομα. Από το 1940 οκτώ σοβαρά ατυχήματα έχουν συμβεί σε σήραγγες. Τέλος λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της σήραγγας και τον ανθρώπινο παράγοντα, κούραση, φόβο και μονοτονία αντιλαμβανόμαστε πόσο σημαντικό ήταν για τη σήραγγα Laerdal να επιτευχθεί η μέγιστη ασφάλεια.

Έτσι οι Νορβηγικές αρχές και η Εθνική Αρχή Εθνικών Οδών έκαναν την ασφάλεια ζήτημα άμεσης προτεραιότητας για τη σήραγγα Laerdal. Κάλεσαν κορυφαίους συμβούλους, αρχιτέκτονες, μηχανικούς φωτισμού, ψυχολόγους και εμπειρογνώμονες σε ένα σεμινάριο στο Τροντχαιμ για να προτείνουν λύσεις για την αύξηση της άνεσης και της ασφάλειας στη σήραγγα Laerdal.

2. ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Ένα κέντρο ελέγχου στο Laerdal παρακολουθεί ανελλιπώς τα διάφορα συστήματα ασφαλείας της σήραγγας, και αν απειληθεί η ασφάλεια, η σήραγγα θα κλείσει. Έχουν ληφθεί πολλά μέτρα προκειμένου να είναι δυνατό το έγκαιρο κλείσιμο και η γρήγορη εκκένωση της σήραγγας. Επίσης, υπάρχουν τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης κάθε 250 μέτρα και δύο πυροσβεστήρες κάθε 125 μέτρα. Το κέντρο ελέγχου καταγράφει αυτομάτως την τοποθεσία κάθε πυροσβεστήρα που αφαιρείται από τη θέση του. Αν αφαιρεθεί κάποιος, τότε κόκκινα φώτα προειδοποιούν τους οδηγούς να μην μπουν στη σήραγγα, ενώ στο εσωτερικό της υπάρχουν σήματα και φώτα τα οποία καθοδηγούν τους οδηγούς να βγουν από αυτήν ακολουθώντας την ασφαλή κατεύθυνση και να απομακρυνθούν από τον κίνδυνο. Οι οδηγοί μπορούν να γυρίσουν πίσω τα οχήματα τους επειδή υπάρχουν σημεία αναστροφής για αυτοκίνητα κάθε 500 μέτρα, καθώς και 15 τοποθεσίες που επιτρέπουν σε μεγαλύτερα οχήματα να γυρίσουν πίσω. Η σήραγγα είναι επίσης εξοπλισμένη με σύστημα ραδιοφωνικής επικοινωνίας και έτσι οι οδηγοί μπορούν να ενημερώνονται μέσω του ραδιοφώνου του αυτοκινήτου τους. Συστήματα καταμέτρησης και φωτογράφησης καταγράφουν όλη την κίνηση μέσα και έξω από τη σήραγγα. Οι αρμόδιες αρχές θεωρούν ότι αυτό είναι ένα πολύ καλό επίπεδο ασφάλειας λαβαίνοντας υπόψη τη σχετικά μικρή κυκλοφορία.

3. ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ

Ένας σημαντικός στόχος των μηχανικών ήταν να κάνουν την οδήγηση σε αυτή τη σήραγγα μια θετική εμπειρία ώστε η οδηγοί να νιώθουν ασφαλείς καθώς διασχίζουν τη σήραγγα. Για να το πετύχουν αυτό, σχεδίασαν τον εσωτερικό χώρο με τη βοήθεια μεταξύ άλλων, ψυχολόγων ενός ινστιτούτου ερευνών οι οποίοι ειδικεύονται σε θέματα οδικής κυκλοφορίας, τεχνικών φωτισμού καθώς και ενός προσομοιωτή οδήγησης. Ειδικότερα ο Gunnar Lotsberg , που βοήθησε στο σχέδιο Laerdal, ένας από τους κορυφαίους στο σχεδιασμό οδικών σηράγγων, στρατολόγησε τον ψυχολόγο και επιστήμονα συμπεριφοράς Gunnar Jenssen, από το πανεπιστήμιο του Τροντχαιμ, για να ανακαλύψει τι μπορεί να κάνει το ταξίδι εντός των σηράγγων λιγότερο κουραστικό και συνεπώς πιο ασφαλές.

Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι οδηγοί αισθάνονται ανακουφισμένοι αφού μπούνε στη σήραγγα και τείνουν να πέσουν κοιμισμένοι. **Αν το διάστημα μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων της σήραγγας (flickering) ταιριάζει με το καρδιακό παλμό των οδηγών αυτό μπορεί να προκαλέσει μια υπνωτική επίδραση**. Ένας εθελοντής μάλιστα έπεσε πραγματικά σε ύπνο κατά τη δοκιμή του σε έναν ιδιαίτερα μονότονο προσομοιωτή.

Οι σχεδιαστές πρότειναν διάφορες ιδέες και διεύθυναν την υλοποίηση τους πάνω σε προσομοιωτές ώστε να διαπιστωθεί πότε οι οδηγοί αντιδρούσαν καλύτερα.

Ποια ήταν τα αποτελέσματα των πειραμάτων στον προσομοιωτή; Η σήραγγα δεν είναι απόλυτα ευθεία. Ομαλές στροφές κρατούν τους οδηγούς άγρυπνους, οι οποίοι ωστόσο, έχουν ορατότητα ενός χιλιομέτρου.

Η μεγαλύτερη καινοτομία έχει επιτευχθεί στο **φωτισμό της σήραγγας**. Τρεις μεγάλες αίθουσες μέσα στο βουνό, οι οποίες μοιάζουν με σπηλιές δίνουν ποικιλία στο μονότονο ταξίδι και εντείνουν το αίσθημα ασφάλειας των οδηγών. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η ψευδαίσθηση ότι κάποιος οδηγεί σε τέσσερις μικρότερες σήραγγες αντί σε μία μεγάλη.

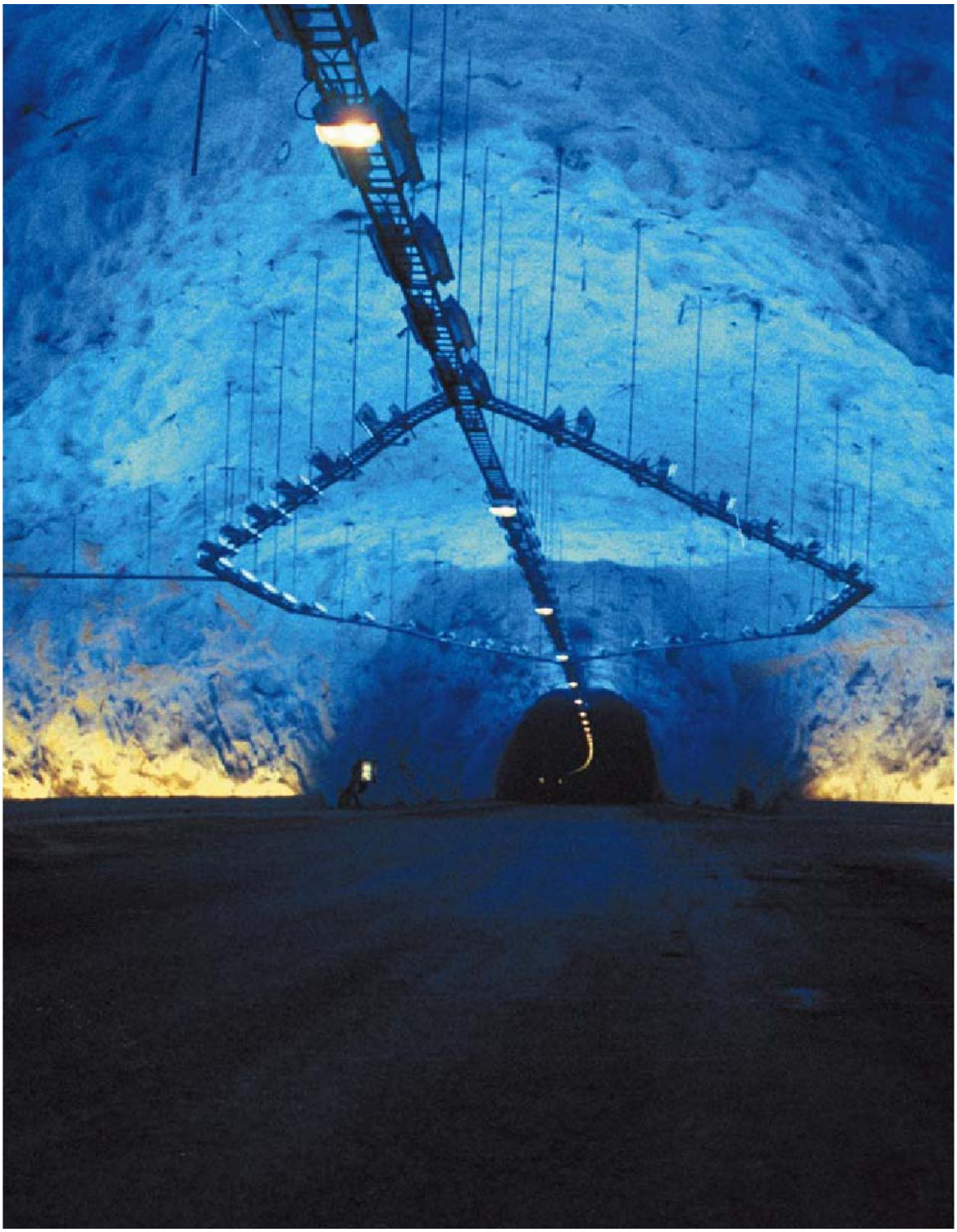
Ο ειδικός φωτισμός που υπάρχει σε αυτές τις αίθουσες, με κίτρινο ή πράσινο φως στο έδαφος και μπλε φως στο πάνω μέρος, δίνει την εντύπωση ότι βλέπει κανείς να μπαίνει το φως της ημέρας (φυσικός φωτισμός) και της ανατολής του ηλίου. Αυτός ο τεχνητός φωτισμός μαζί με τον επαρκή φωτισμό σε όλη τη σήραγγα κάνουν τους περισσότερους οδηγούς να νιώθουν άνεση και ασφάλεια.

Ανατολή μέσα σε ένα βουνό.

Μια από τις τρεις αίθουσες βουνών στη σήραγγα Laerdal.

Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί χρωματισμοί στους τοίχους των σηράγγων κατάλληλοι για να επιτύχουν την αίσθηση της ασφάλειας, όπως πράσινο και κίτρινο αλλά και για να βοηθήσουν τους οδηγούς στο καθορισμό της θέσης τους μέσα στη σήραγγα.

Η σήραγγα Laerdal αποτελεί τώρα πρότυπο για το σχεδιασμό των σηράγγων παγκόσμια.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]. CIE Technical Report Guide for the lighting of road. Tunnels and Underpasses. Publication CIE 88-1990.
[2]. BS 5489, Roadway Lighting 1999.
[3]. Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ-Η Παν. Παναγάκος «Φωτισμός Οδικών Σηράγγων» Ιούλιος 1999.
[4]. Δ.Ευθυμιάτος «Φως και ήχος».
[5]. Energy Saving in Tunnel Entrance Lighting
D.A. Schreuder, Ing. L. Swart.
[6]. IEC 529 Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP code) (Nema type).
[7]. CIE/PIARC : Road Surfaces and Lighting.
[8]. Εγνατία Οδός-Προδιαγραφές Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων. Ιανουάριος 2003.
[9]. Φ.Β. Τοπαλής: Βασικές Αρχές Φωτομετρίας και Μελέτες Φωτισμού. Αθήνα 1994.
[10]. Compatibility Test of Dimming Electronic Ballasts Used in Daylighting and Environment Controls.
Arnold Buddenberg – Robert Wosley.
[11]. The Electronic Control of Lighting
L.Zonneveldt – A.J.F. Rutten.
[12]. Maintenance Schedule Optimization and its Impact on Energy and Economic Demands.
Luciano Di Fraia
[13]. Luminance Contrast in Road Lighting.
Wladystaw Gdik – Malgorzata Gorczewska.
[14]. Determination of Visual Distance as a Function of Photometric Parameters.
Kambezidis – Logothetis – Oikonomopoulos – Papadodimas - Xintadekas
[15]. Superlink – A Computer tool to Calculate the Impact of Daylight – Controlled Lighting Systems on the Overall Energetic Behavior of Buildings.
Michael Szerman.
[16]. FHWA Federal HighWay Administration. Eighth US/Japan Workshop on Advanced Technology In Highway Engineering.
[17]. Tunnel Lighting Fixtures by Holophane.
[18]. ADELINE 2.0 NT Tutorial Building Energy Analysis and Design Tools for Solar Applications.
Rob Hitchcock – Jurgen Stoffel -May 1996
[19]. ADELINE – An Advanced Computer Tool to Design and Evaluate Day- and Electric Lighting Applications in Buildings.
Hans Erhorn – Michael Szerman
[20]. ADELINE – An Integrated Approach to Lighting Simulation.
Hans Erhorn – Jan De Boer – Michael Dirksmoller
[21]. Energy Saving in Lighting Installations by the Utilizations of Daylight.
Bjorn Brekke.
[22]. Availability of Daylight in Europe and Design of a Europe Daylight Atlas.

[23]. Daylight Levels of Athens
Kambezidis – Logothetis – Tsangrassoulis –Psiloglou
National Observatory of Athens.

[24]. Energy Savings Through Improved Lighting Design and Engineering. Tommy Goven
[25]. Experiment Study on the Integrated Lighting System With Daylight and Artificial
Light Based on the Subjective Response and Energy Saving.
[26]. Tunnel Lighting Technology - PHILIPS
[27]. DPTunnel – Tunnel Lighting Program Version 1.03 – Instruction Manual.
[28]. The relationship between roadlighting quality and the accident frequency.P.P.Scott

ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

www.philips.com
www.eur.lighting.philips.com
www.ile.org.uk
www.industria.nl
www.lighting-technologies.com
www.opt.au.com/opt_software.html
www.members.ozemail.com.au
www.radsite.lbl.go/adeline/demo.html
www.lightsource.com
www.lightsearch.com
www.lightsciences.com
www.intelux.com
www.egnatia.gr
www.aodos.gr
www.tee.gr
www.minenv.gr
www.noa.gr
www.holophane.com
www.daylightcontrols.com
www.metrolux.com
www.rigamonti.ch
www.plcmultipoint.com
www.thornlight.com
www.tunnel-lighting-control.com
www.right_light.org
www.cie.org
www.fhwa.dot.gov
www.ge.lightingsystems.com
www.lightmeters.com
www.interlog.com
www.lightcalc.com
www.lumatron.com
www.iaeel.org