

ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΟΔΩΝ, ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

13-14.03.2019



Ερευνητής, υπεύθυνος μετρήσεων
Εργαστήριο Φωτοτεχνίας
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Δρ. Κωνσταντίνος Α. Μπουρούσης
bouroussis@gmail.com



Εθνικός Εκπρόσωπος - CIE Division 2
"Physical Measurement of Light and Radiation"
International Commission on Illumination

Μέρος Β – Φωτισμός σηράγγων

Περιεχόμενα

- Ιδιαιτερότητα των σηράγγων
- Κατηγορίες
- Ανάγκη ημερήσιου φωτισμού
- Μεθοδολογία μελέτης
- Σύστημα ελέγχου
- Έργα αναβάθμισης
- Έξυπνες παρεμβάσεις
- Μετρήσεις πεδίου

Φωτισμός οδών Vs Φωτισμός σηράγγων

Οδικός φωτισμός

- Κάθε οδός ανήκει σε μία ονομαστική κλάση φωτισμού
- Δυνατότητα κλάσεων προσαρμοστικού φωτισμού
- Σταθερά επίπεδα φωτισμού ανά κλάση ($0.3 \sim 2 \text{ cd/m}^2$)
- 1 φωτιστικό ανά 20-50m
- Τυπική εγκατεστημένη ισχύς: 10kW/km με συμβατικά φωτιστικά



Φωτισμός σηράγγων

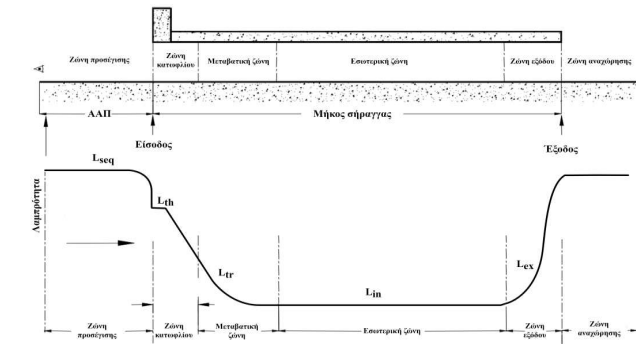
- Φωτισμός με γνώμονα τις εξωτερικές συνθήκες ημερήσιου φωτισμού
- Μεταβλητός φωτισμός κατά μήκος της σήραγγας ($1 \sim 10^3 \text{ cd/m}^2$)
- Συνεχής προσαρμογή στα εξωτερικά επίπεδα φωτισμού
- Σύνθετο σύστημα ελέγχου
- 70-80 φωτιστικά ανά 100m
- Τυπική εγκατεστημένη ισχύς: 80kW/km





Η ιδιαιτερότητα των σήραγγων

- Λειτουργία φωτισμού 24h
- Πολλαπλά επίπεδα φωτισμού
- Μεταβλητός φωτισμός κατά μήκος της σήραγγας
- Υψηλή εγκατεστημένη ισχύς
- 1 τυπική σήραγγα ~ 15km οδοφωτισμού
- Φωτιστικά με διαφορετικά ωράρια λειτουργίας
- Διαφορετικά διαστήματα συντήρησης
- Αυστηρές προδιαγραφές για λόγους ασφαλείας



Οδηγίες και πρότυπα

- CIE88 - Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses
- CEN/TR 14380 - Lighting Applications – Tunnel Lighting
- CIE194 - On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting

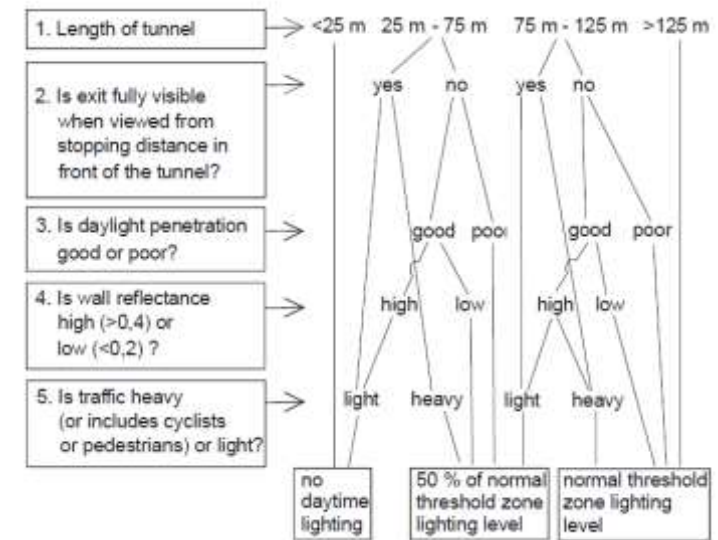


Ανάγκη ημερήσιου φωτισμού;

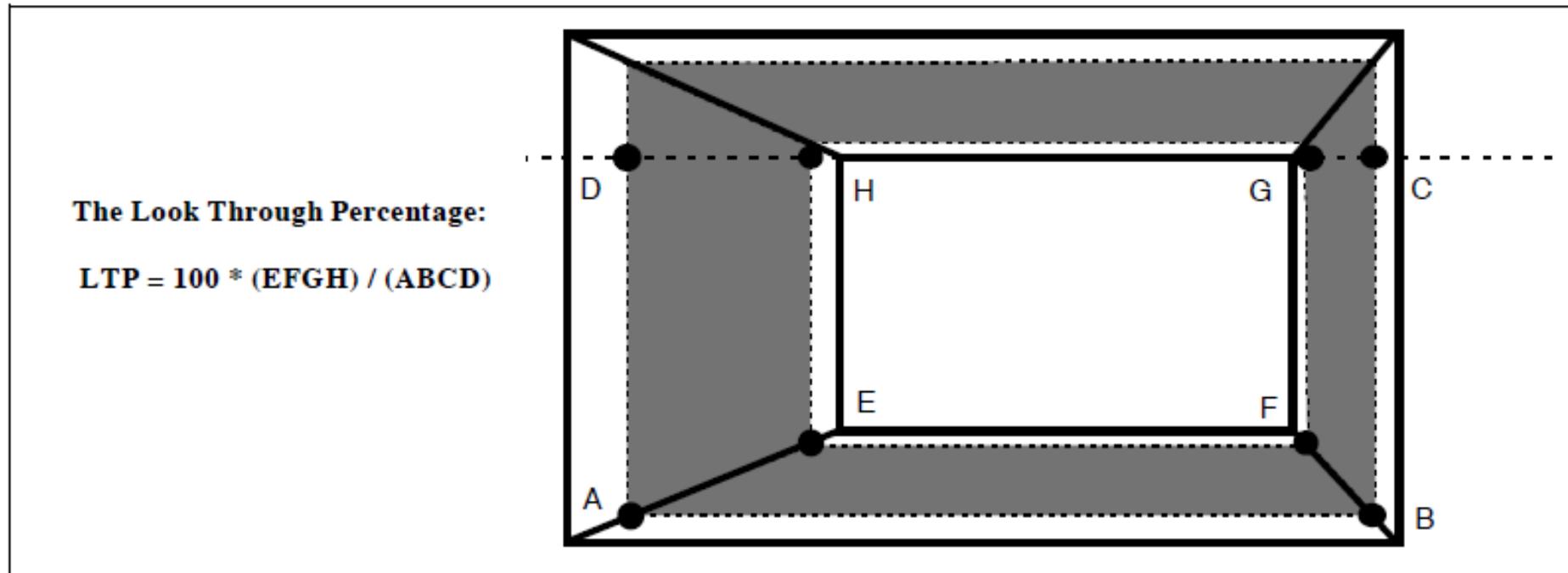
CEN/TR 14380

- <25m – δεν απαιτείται φωτισμός
- <200m – υπολογισμός του LTP (Look Through Percentage)
- >200m – χρειάζεται φωτισμός ημέρας

CIE 88



Διερεύνηση μέσω LTP



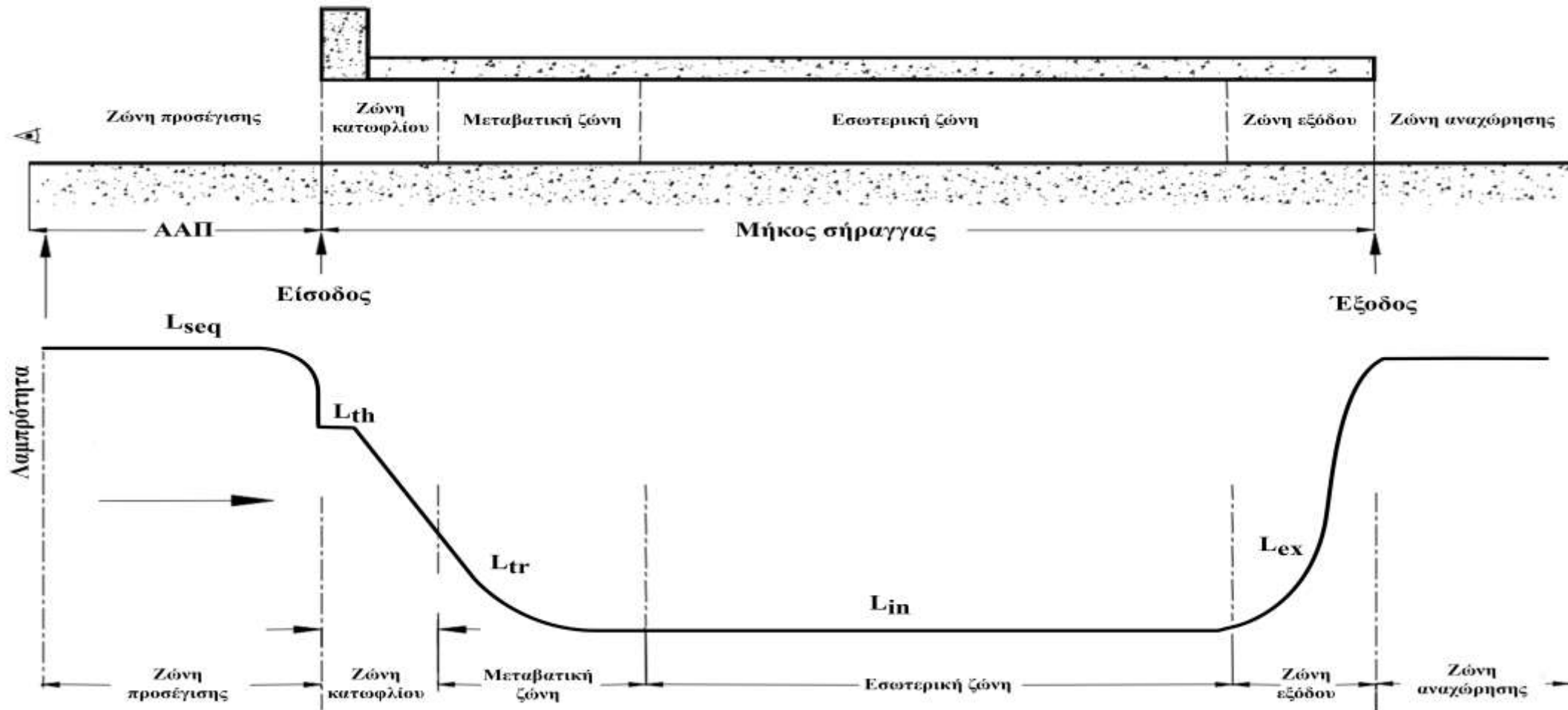
Διερεύνηση μέσω LTP



Διερεύνηση μέσω LTP

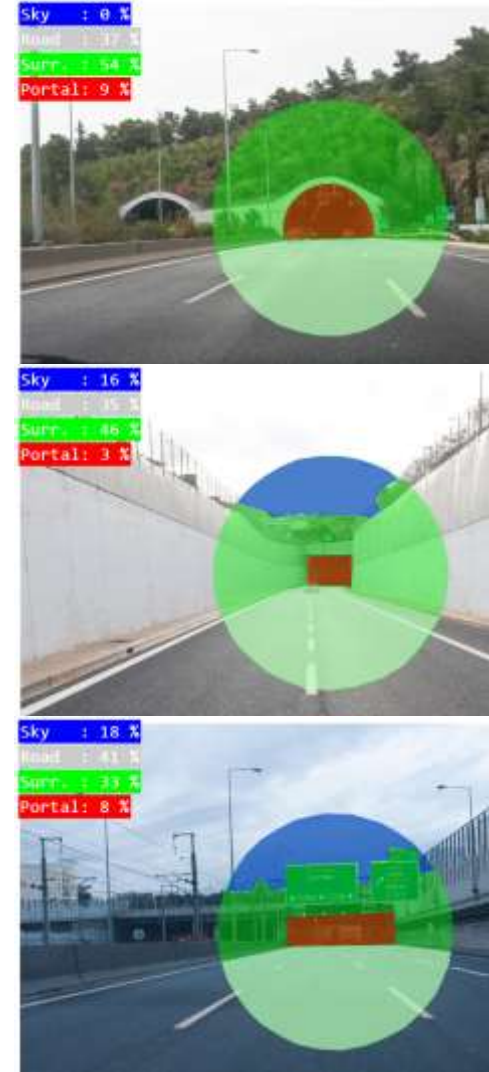
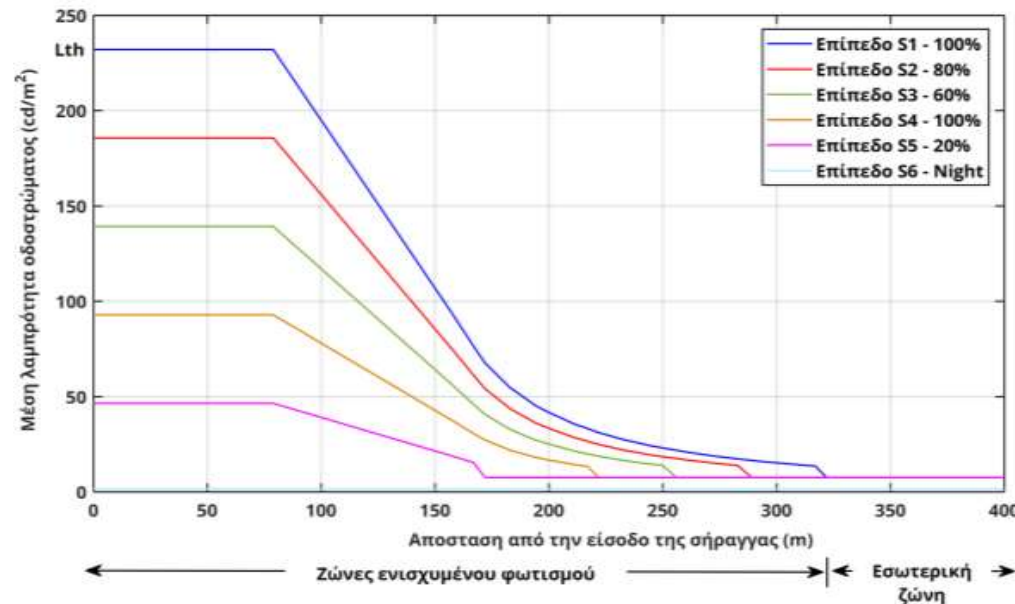


Διακύμανση φωτισμού κατά μήκος της σήραγγας



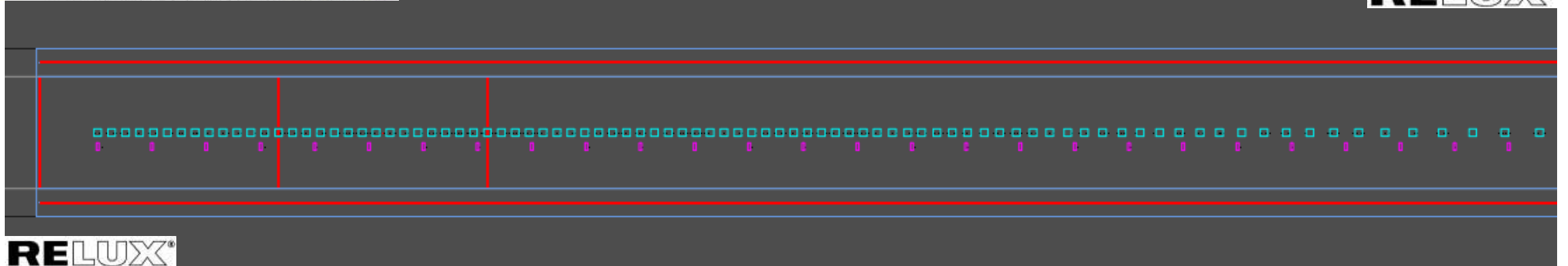
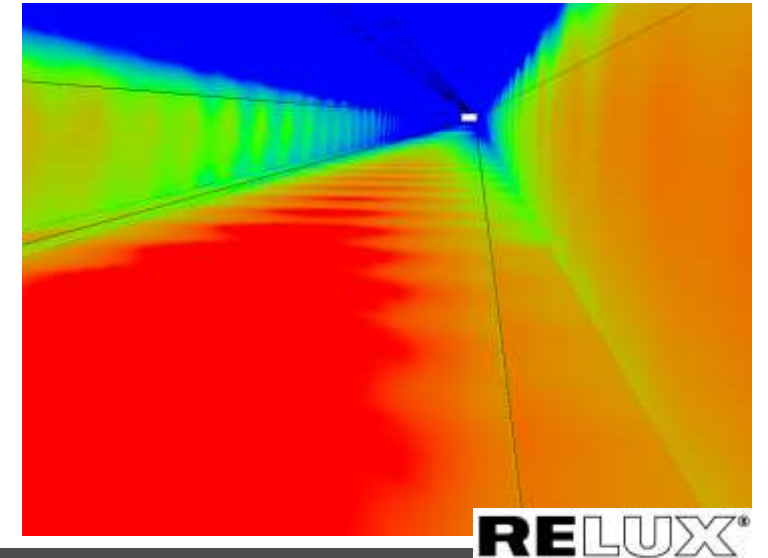
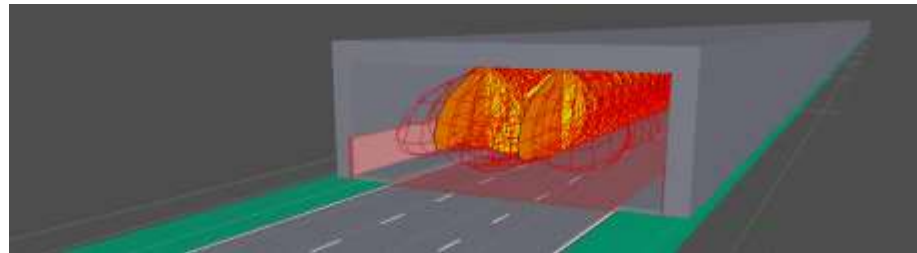
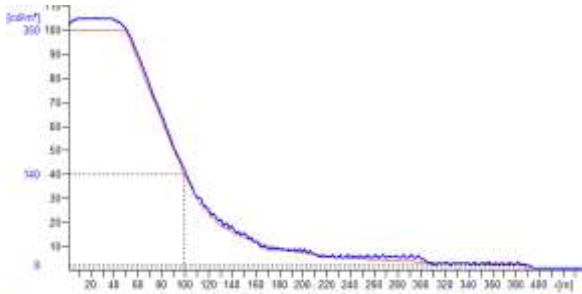
Μεθοδολογία σχεδιασμού

- Ταχύτητα οχημάτων, κλίση, απόσταση ακινητοποίησης
- Εξωτερική λαμπρότητα L20
- Κυκλοφοριακά δεδομένα
- Κλάση σήραγγας
- Συντελεστής k
- Λαμπρότητα Lth
- Επίπεδα φωτισμού
- Μήκη ζωνών

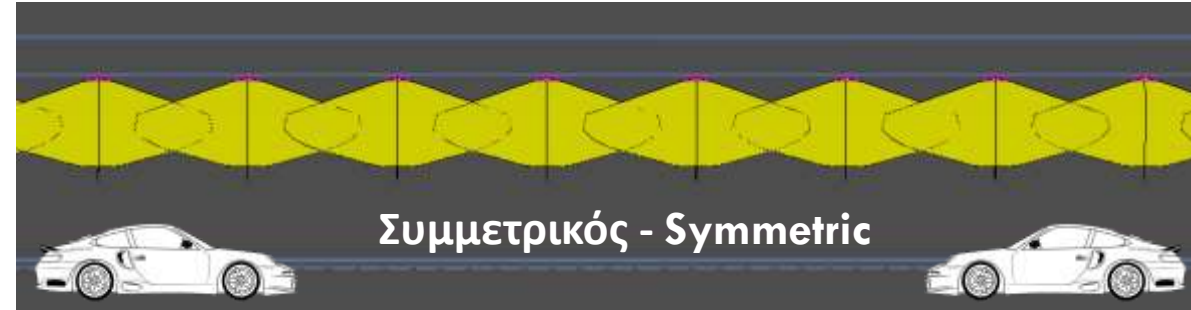


Μελέτη φωτισμού

- Εξειδικευμένα λογισμικά (π.χ. RELUX Tunnel)
- Μεταβλητές αποστάσεις φωτισμού



Κατευθυντικότητα φωτισμού



$\Phi=45.000\text{lm}$



$\Phi=45.000\text{lm}$

Lav	:	100.35 cd/m ²	100.35 cd/m ²
Uo	Lmin/Lavg	: 0.47	0.47
UI	Lmin/Lmax	: 0.95	0.95
qc(av)	:	0.76 cd/m ² /lx	0.76 cd/m ² /lx
qc(min)	:	0.38 cd/m ² /lx	0.38 cd/m ² /lx
TI max.	Max.	: 5 %	5 %
Lseq	Max.	: 8.43 cd/m ²	8.43 cd/m ²
B	Max.	: 0.04	0.05



Λαμπρότητα: -32 %

Lav	:	67.21 cd/m ²	67.45 cd/m ²
Uo	Lmin/Lavg	: 0.55	0.59
UI	Lmin/Lmax	: 0.98	0.99
qc(av)	:	0.10 cd/m ² /lx	0.10 cd/m ² /lx
qc(min)	:	0.06 cd/m ² /lx	0.07 cd/m ² /lx
TI max.	Max.	: 4 %	3 %
Lseq	Max.	: 4.67 cd/m ²	3.74 cd/m ²
B	Max.	: 0.04	0.03

...χρειάζεται ~50% περισσότερη φωτεινή ροή για να φωτιστεί επαρκώς με συμμετρικά φωτιστικά

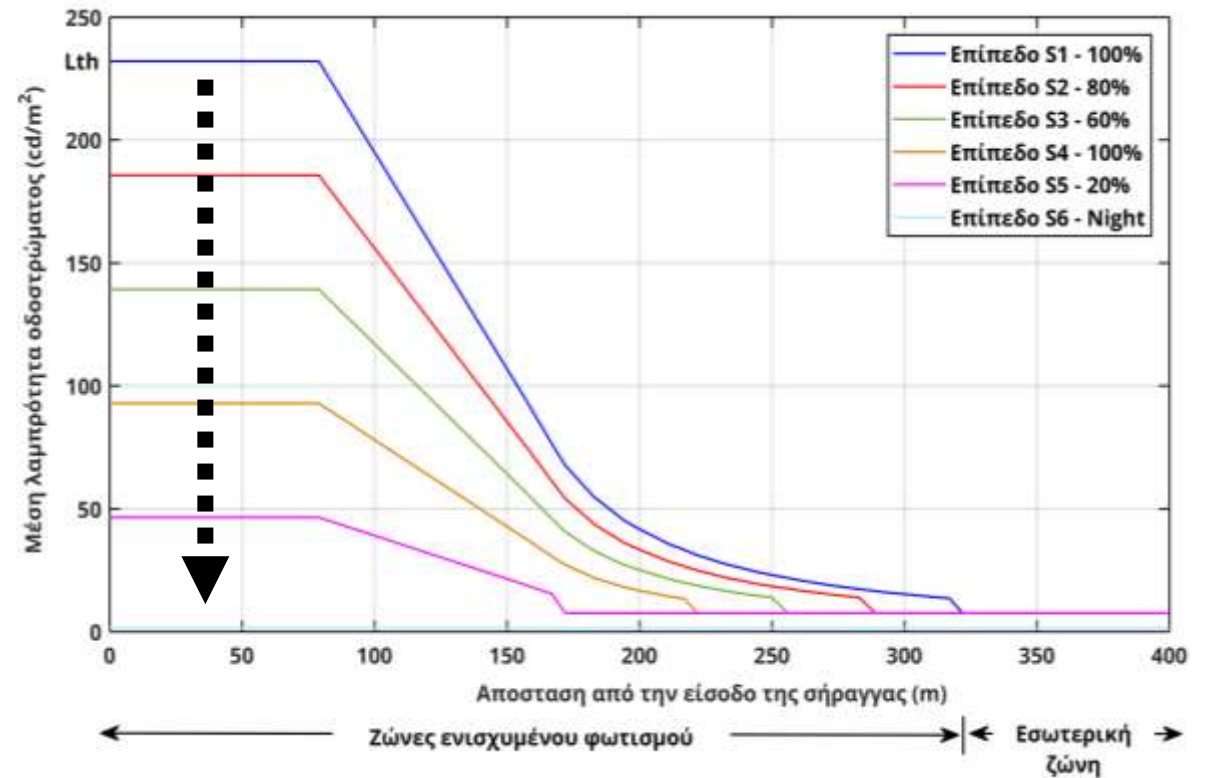


Θάμβωση !!!

Μεγάλη προσοχή
απαιτείται τόσο στην
μελέτη φωτισμού όσο και
στην ορθότητα των
φωτομετρικών αρχείων.

Σύστημα ελέγχου φωτισμού

- Τα LED δίνουν τη δυνατότητα συνεχούς ρύθμισης της φωτεινής ροής
- Συνεχής μεταβολή του μήκους ζώνης ενισχυμένου φωτισμού
- Εναλλακτικοί τρόποι ελέγχου
 - Σε βήματα (4-7) – όπως μέχρι σήμερα
 - 100% -> 0% συνεχές
 - Dimming έως 50%
 - Dimming έως 30%



Αναβάθμιση φωτισμού σηράγγων σε LED

➤ Προκλήσεις

- Μεγάλο κόστος αρχικής επένδυσης
- Επικαιροποίηση λειτουργικών στοιχείων
- Αναθεώρηση μελετών φωτισμού
- Εξειδικευμένη μελέτη φωτισμού
- Μετρήσεις φωτισμού μετά την ολοκλήρωση

➤ Ερωτήματα που τίθενται

- Αλλαγή του τρόπου ελέγχου;
- Είναι όλα τα φωτιστικά κατάλληλα;
- Χρόνος ζωής εγκατάστασης;
- Πόση εξοικονόμηση θα επιτευχθεί;
- Χρόνος απόσβεσης;



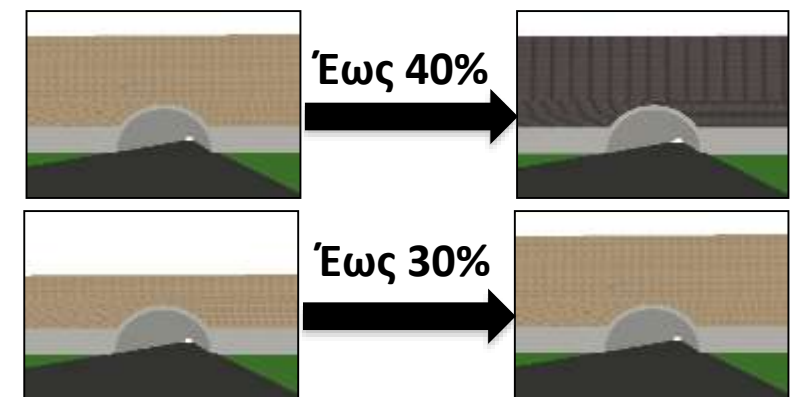
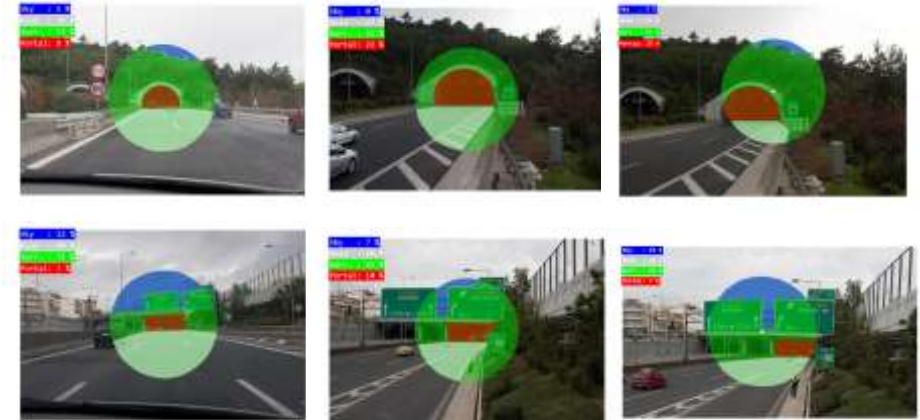
Αναβάθμιση φωτισμού σηράγγων σε LED

- Όχι στην αντικατάσταση 1 προς 1 βάσει φωτεινής ροής
Αν στον οδοφωτισμό είναι έγκλημα, στις σήραγγες είναι κακούργημα
- Νέες θέσεις φωτιστικών σωμάτων
- Επαναρύθμιση συστήματος ελέγχου
- Ταχύτητα απόκρισης συστήματος (continuous dimming)
- Βελτιστοποίηση λειτουργίας
- κ.λπ. ...



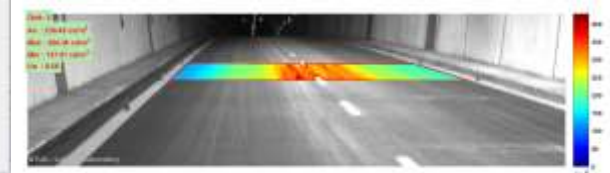
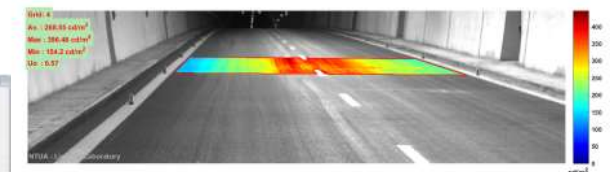
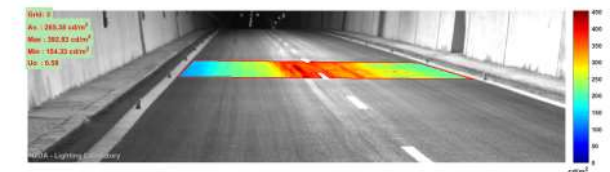
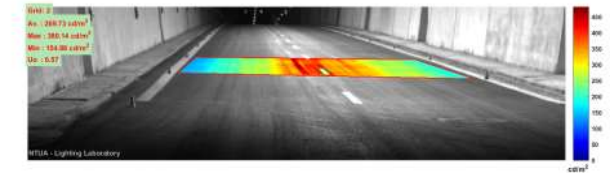
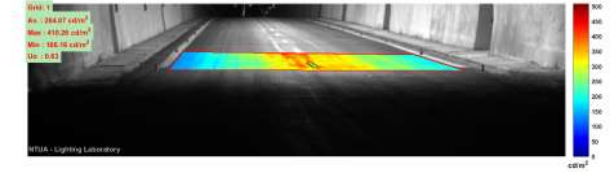
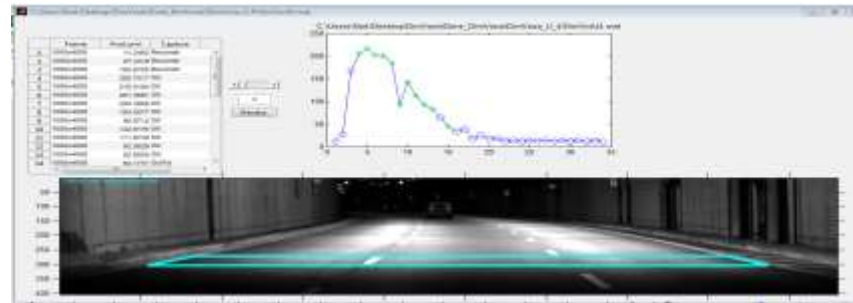
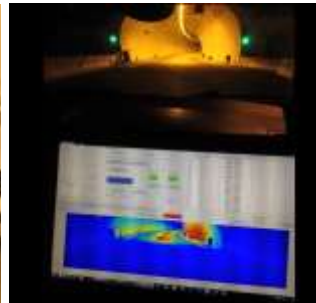
Έξυπνες παρεμβάσεις

- Βελτιστοποίησης στόχευσης εξωτερικών μετρητών
 - Προσομοίωση οπτικού πεδίου οδηγού
 - Επαναστόχευση λαμπρομέτρων
 - Πιθανή μείωση ή και αύξηση κατανάλωσης ...
 - ... προς την ασφάλεια των οδηγών
- Μείωση εξωτερικής λαμπρότητας
 - Περιορισμός ποσοστού ουρανού
 - Σκούρο στόμιο
 - Σκίαστρα
 - Άλλες παρεμβάσεις

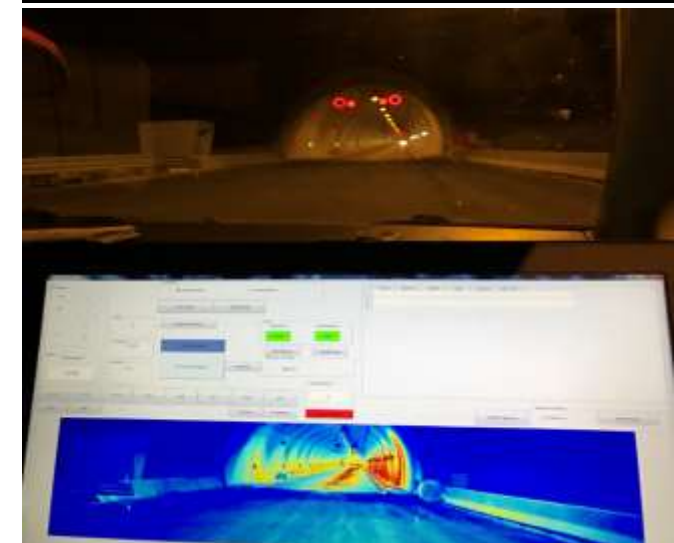
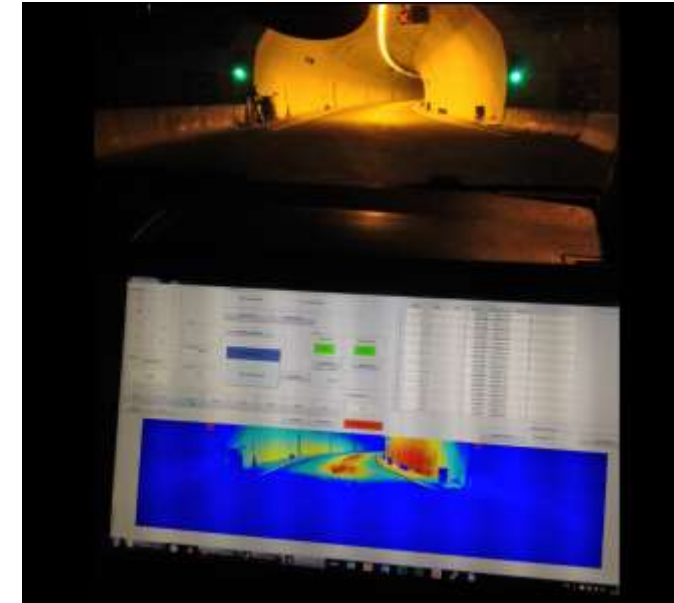


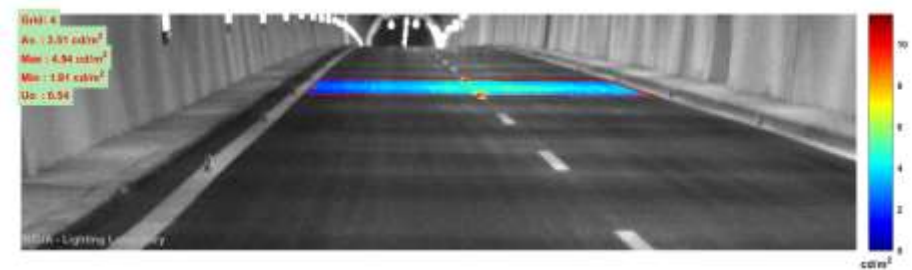
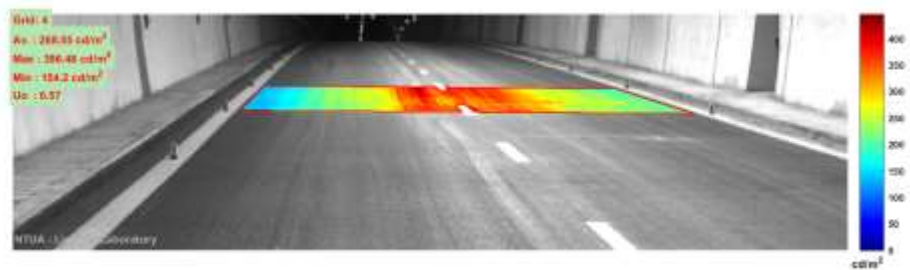
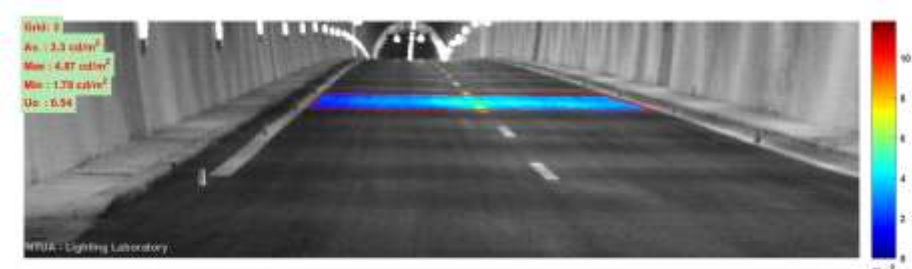
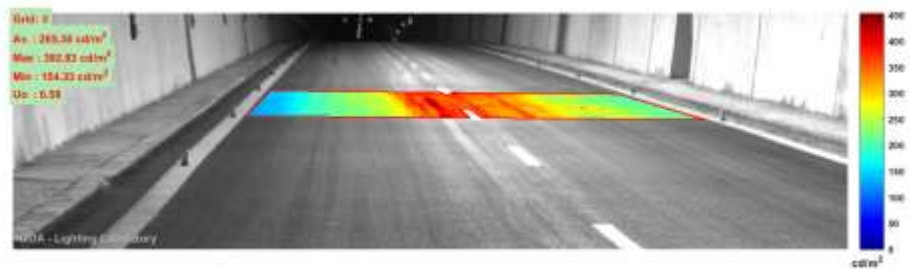
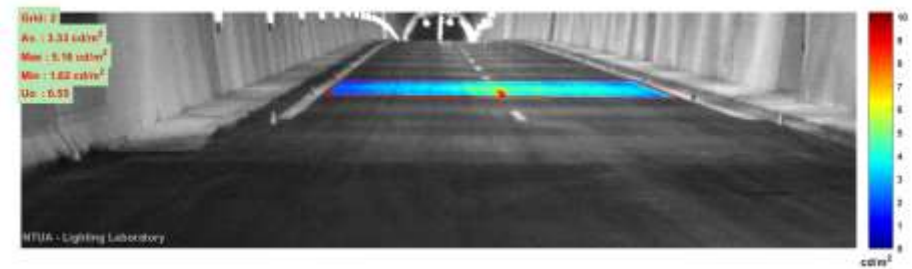
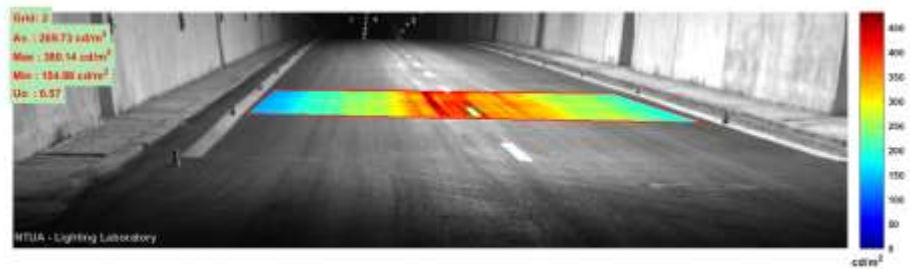
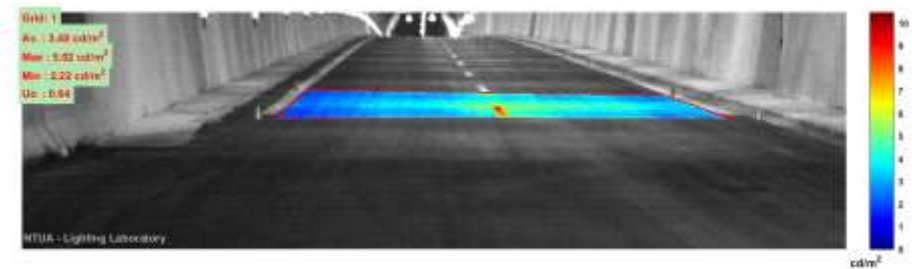
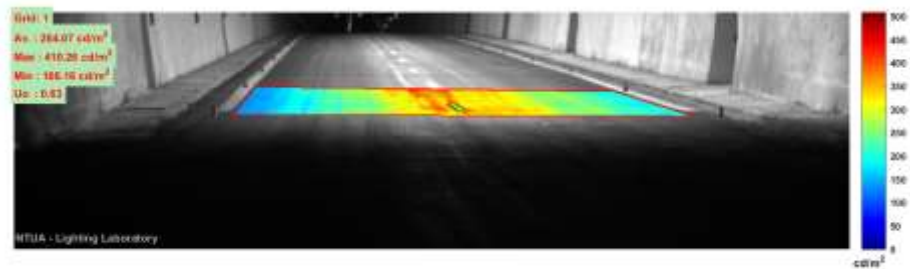
Ολοκληρωμένες φωτομετρήσεις

- Μετρήσεις μετά την αναβάθμιση
- Μέτρηση ολόκληρου του μήκους της ενισχυμένης ζώνης
- Ρύθμιση των επιπέδων λαμπρότητας στα πραγματικά απαιτούμενα
- Ρύθμιση του συστήματος ελέγχου (Fine-tuning)
- Εντοπισμός πιθανών αστοχιών ή και αποκλίσεων



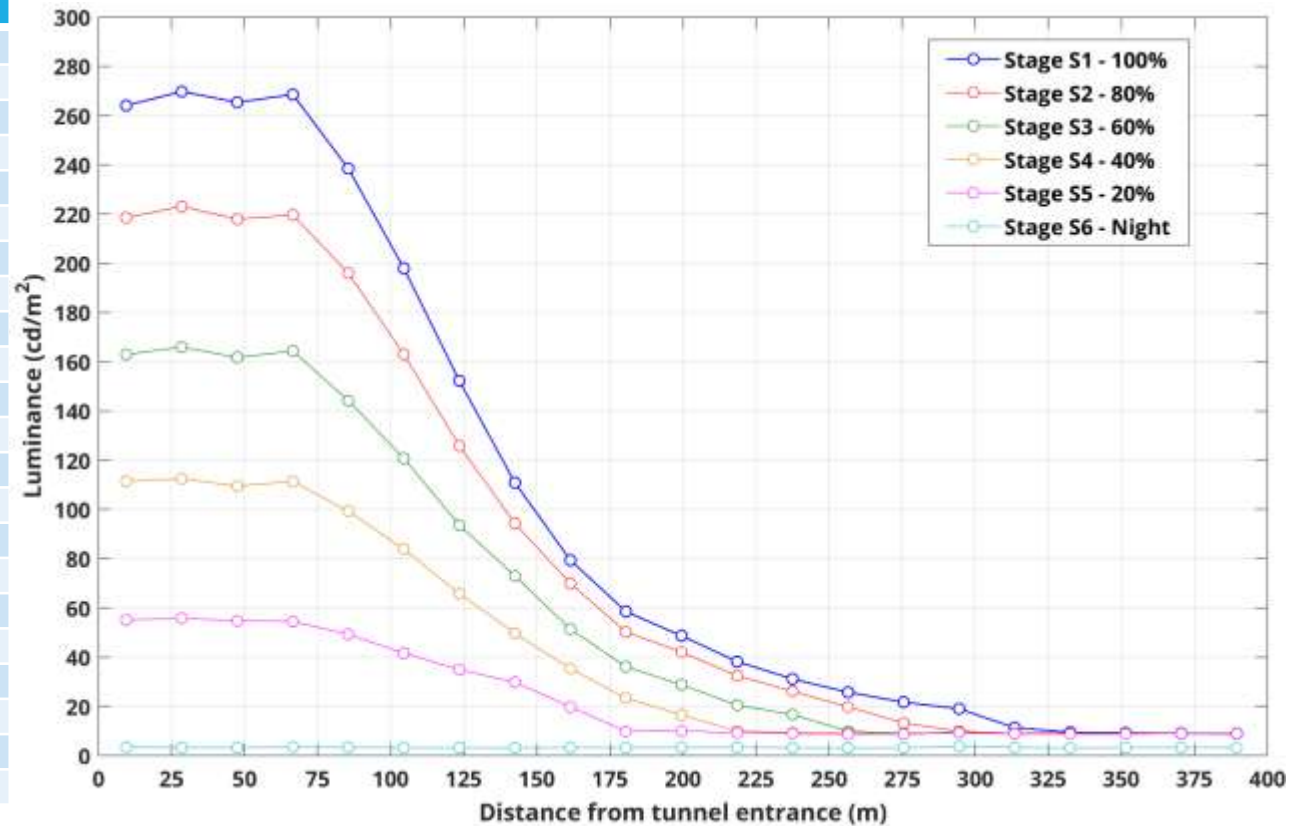
Ολοκληρωμένες φωτομετρήσεις



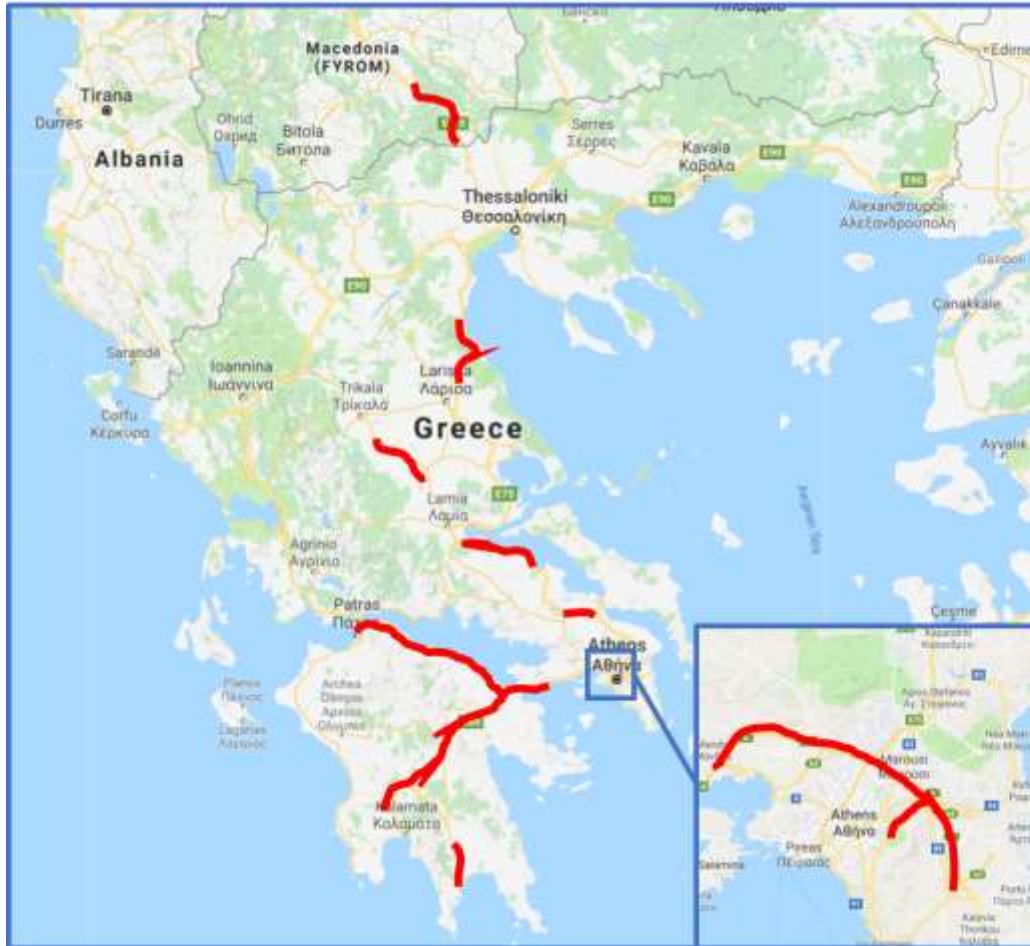


Ολοκληρωμένες φωτομετρήσεις

Position (m)	Average road surface luminance (cd/m ²) per lighting stage					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
9.5	2.64E+02	2.19E+02	1.63E+02	1.12E+02	5.51E+01	3.48E+00
28.5	2.70E+02	2.23E+02	1.66E+02	1.12E+02	5.58E+01	3.33E+00
47.5	2.65E+02	2.18E+02	1.62E+02	1.10E+02	5.47E+01	3.30E+00
66.5	2.69E+02	2.20E+02	1.64E+02	1.11E+02	5.45E+01	3.51E+00
85.5	2.38E+02	1.96E+02	1.44E+02	9.93E+01	4.93E+01	3.42E+00
104.5	1.98E+02	1.63E+02	1.21E+02	8.39E+01	4.16E+01	3.26E+00
123.5	1.52E+02	1.26E+02	9.36E+01	6.57E+01	3.49E+01	3.22E+00
142.5	1.11E+02	9.43E+01	7.30E+01	4.97E+01	2.99E+01	3.17E+00
161.5	7.94E+01	6.99E+01	5.14E+01	3.54E+01	1.98E+01	3.33E+00
180.5	5.85E+01	5.02E+01	3.61E+01	2.34E+01	9.88E+00	3.27E+00
199.5	4.87E+01	4.21E+01	2.88E+01	1.66E+01	1.00E+01	3.34E+00
218.5	3.82E+01	3.25E+01	2.05E+01	9.97E+00	9.32E+00	3.42E+00
237.5	3.12E+01	2.62E+01	1.67E+01	9.36E+00	9.05E+00	3.26E+00
256.5	2.58E+01	1.98E+01	9.93E+00	9.10E+00	8.68E+00	3.11E+00
275.5	2.17E+01	1.33E+01	9.09E+00	8.91E+00	8.79E+00	3.20E+00
294.5	1.90E+01	9.87E+00	9.55E+00	9.36E+00	9.39E+00	3.74E+00
313.5	1.14E+01	9.15E+00	8.90E+00	9.06E+00	8.91E+00	3.37E+00
332.5	9.47E+00	9.09E+00	8.90E+00	8.94E+00	8.89E+00	3.12E+00
351.5	9.26E+00	8.97E+00	9.01E+00	9.05E+00	8.91E+00	3.29E+00
370.5	9.16E+00	9.14E+00	9.07E+00	9.10E+00	9.08E+00	3.33E+00
389.5	9.01E+00	8.96E+00	9.03E+00	9.07E+00	8.94E+00	3.29E+00



Μερικά στατιστικά...



- > 80 σήραγγες
- > 20 οδικοί κόμβοι
- Δεκάδες δημοτικοί οδοί
- > 7000 μετρήσεις

ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΟΔΩΝ, ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΩΝ - ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ



Ερευνητής, υπεύθυνος μετρήσεων
Εργαστήριο Φωτοτεχνίας
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Δρ. Κωνσταντίνος Α. Μπουρούσης
bouroussis@gmail.com



Εθνικός Εκπρόσωπος - CIE Division 2
"Physical Measurement of Light and Radiation"
International Commission on Illumination